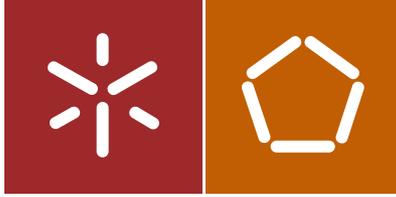




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alberto João da Silva Basto Botelho

Modelação de custos associados aos
sistemas de abastecimento de água



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alberto João da Silva Basto Botelho

Modelação de custos associados aos
sistemas de abastecimento de água

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Júlio F. Ferreira da Silva

“ Water is the driving force of all nature ”

Leonardo da Vinci, 1519

AGRADECIMENTOS

À minha família, e principalmente aos meus pais, que me acompanharam desde sempre. Sem o apoio deles, certamente, não teria realizado todo o meu percurso académico.

Ao meu orientador, Júlio F. Ferreira da Silva, pela disponibilidade para ajudar e pela partilha de conhecimentos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, que durante estes últimos cinco anos sempre me acompanharam nos bons e maus momentos.

Por fim, a todas as pessoas que de um modo direto ou indireto contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A modelação de custos associados ao sistema de abastecimento de água evidencia-se como sendo uma ferramenta fundamental para obter uma maior racionalização nas decisões a tomar sobre o tema.

A presente dissertação, destinou-se a quantificar e modelar os custos associados aos sistemas de abastecimento de água, assim como a desenvolver um procedimento que solucione o problema existente da constante desactualização das funções custo.

Para atingir o primeiro objetivo recorreu-se a duas metodologias. Na primeira procedeu-se à modelação dos custos, de acordo com os preços dos materiais e equipamentos praticados no mercado atual. Para tal, foram considerados os preços referenciados em catálogos de empresas de construção e no *software* gerador de preços CYPE. Na metodologia seguinte, realizou-se a modelação com base no regime de revisão de preços. Neste caso, os encargos utilizados foram obtidos através de índices de atualização, de acordo com a legislação em vigor (Decreto-Lei nº 6/2004).

Em conformidade com os resultados alcançados, efetuou-se uma confrontação dos custos obtidos pelos dois procedimentos, verificando-se que existe uma discrepância entre ambos. Contudo, essa diferença tende para uma igualdade à medida que o aglomerado populacional a servir pelo sistema de abastecimento aumenta. Deste modo, os encargos e as funções custo desenvolvidas apresentam-se como uma estimativa fiável e aproximada dos custos reais.

Para atingir o segundo objetivo, que consiste em resolver o problema da permanente desatualização das funções custo, foram criadas tabelas no *software* Excel, de acordo com o procedimento desenvolvido no regime de revisão de preços, que irão servir para uma futura renovação das funções custo.

Palavras-chave: Sistema de Abastecimento de Água; Modelação de Custos; Modelo de Atualização de Custos; Regime de Revisão de Preços; Funções Custo

ABSTRACT

The modeling of costs associated with the water supply system is evident as a fundamental tool for achieving greater rationalization in taking decisions on the subject.

This dissertation was designed to quantify and model the costs associated with water supply systems, as well as develop a procedure to solve the existing problem of the steady obsolescence of cost functions.

To achieve the first goal we used two methodologies. The first proceeded - to the modulation of the costs, according to the prices of materials and equipment carried in the current market. To this end, we considered the prices referenced in catalogs of construction companies and generator software CYPE prices. The following methodology, modeling was carried out under the scheme of revision of prices. In this case, the charges used were obtained through indexes updated, according to the legislation (Decree-Law No. 6/2004).

In accordance with the results, made-up comparisons of the costs obtained by the two procedures, verifying that there is a discrepancy between them. However, this difference tends to equal as the agglomeration serving the supply system increases. Thus, the burden and cost functions developed are presented as a reliable and rough estimate of the actual costs.

To achieve the second objective, which is to solve the problem of permanent downgrade of cost functions, tables were created using Excel, according to the procedure developed in the system of price revision, which will serve for a future renewal functions cost.

Keywords: Water Supply System; Modeling Costs; Model update costs; Regime Review Price; Cost Functions;

ÍNDICE

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
SIMBOLOGIA	XV
LISTA DE ACRÓNIMOS	XIX
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. ÂMBITO E OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO	3
II. ESTADO DE CONHECIMENTO	5
III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
3.1. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	11
3.1.1. INTRODUÇÃO	11
3.1.2. CAPTAÇÃO	12
3.1.3. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS	14
3.1.4. ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS	15
3.1.5. ADUÇÃO	16
3.1.6. RESERVATÓRIOS	17
3.1.7. REDE DE DISTRIBUIÇÃO	19
3.1.8. CUSTOS	19
3.2. MODELAÇÃO DE CUSTOS	22
3.2.1. CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS	22
3.2.2. BENEFÍCIOS E DESVANTAGENS ASSOCIADAS À MODELAÇÃO	24
3.2.3. FUNÇÕES CUSTO	25

IV. METODOLOGIAS	27
4.1. PROCEDIMENTOS	27
4.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DO REGIME DE REVISÃO DE PREÇOS	30
V. CASOS DE ESTUDO	33
5.1. CONSUMOS	33
5.2. FUNÇÕES CUSTO OBTIDAS ATRAVÉS DA ATUALIZAÇÃO DE CUSTOS	35
5.2.1. CAPTAÇÕES	35
5.2.2. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA	41
5.2.3. RESERVATÓRIOS	44
5.2.4. ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS	47
5.2.5. ADUTORAS	49
5.2.6. REDE DE DISTRIBUIÇÃO	53
5.2.7. CUSTOS DE EXPLORAÇÃO	54
5.3. FUNÇÕES CUSTO OBTIDAS ATRAVÉS DO REGIME DE REVISÃO DE PREÇOS	60
VI. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	73
VII. CONCLUSÕES E INDICAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	83
7.1. CONCLUSÕES	83
7.1. APLICAÇÕES FUTURAS	84
VIII. BIBLIOGRAFIA	87
ANEXO I	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	11
FIGURA 2 - CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS DE SANTA ÁGUEDA, CASTELO BRANCO <i>(WWW.ADP.PT)</i>	13
FIGURA 3 - ETA DE AREIAS DE VILAR, BARCELOS <i>(WWW.ADP.PT)</i>	15
FIGURA 4 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ALCANHÕES, SANTARÉM <i>(WWW.ADP.PT)</i>	16
FIGURA 5 - ADUTORA, NOVA SINTRA, GONDOMAR <i>(WWW.ADP.PT)</i>	17
FIGURA 6 - RESERVATÓRIO SEMI-ENTERRADO, FAZARGA, FÁTIMA <i>(WWW.CENTRALPROJETOS.PT)</i>	18
FIGURA 7 - CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO	24
FIGURA 8 - COEFICIENTES REFERENTES AOS TIPOS DE OBRA <i>(DESPACHO Nº22 637/2004)</i>	61
FIGURA 9 – VARIAÇÃO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTOS PER CAPITA	76
FIGURA 10 – VARIAÇÃO DOS CUSTOS DE EXPLORAÇÃO ANUAIS	77

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CUSTOS DE EXPLORAÇÃO.....	21
TABELA 2 – CAPITAÇÕES.....	33
TABELA 3 - CONSUMOS	34
TABELA 4 - CUSTO CONSTRUÇÃO CIVIL DAS CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS	35
TABELA 5 - CUSTO DOS EQUIPAMENTOS ELETROME CÂNICOS DAS CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS.....	36
TABELA 6 - CUSTOS DOS POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO.....	38
TABELA 7 - CUSTO TOTAL DAS CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS	39
TABELA 8 - CUSTO PER CAPITA DAS CAPTAÇÕES SUPERFICIAIS	40
TABELA 9 - CUSTO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	41
TABELA 10 - CUSTO PER CAPITA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS	42
TABELA 11 – CUSTO TOTAL E PER CAPITA DE UM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	43
TABELA 12 - CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS SEMI - ENTERRADOS	45
TABELA 13 - CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DOS RESERVATÓRIOS ELEVADOS.....	46
TABELA 14 - CUSTO DE CONSTRUÇÃO DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS	48
TABELA 15 - LARGURA DA VALA (L)	50
TABELA 16 - PERCENTAGEM DO CUSTO DOS ACESSÓRIOS DAS ADUTORAS	51
TABELA 17 - RECURSOS HUMANOS DE UM SAA.....	55
TABELA 18 - CUSTOS RELATIVOS AOS RECURSOS HUMANOS DE UM SAA.....	56
TABELA 19 - CONSUMOS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	57
TABELA 20 - CUSTOS DE CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO	58
TABELA 21 - TAXAS DE VARIAÇÃO DOS CUSTOS EM PORTUGAL ENTRE 1995 E 2003 (INE).....	62
TABELA 22 - COEFICIENTES DE ATUALIZAÇÃO	63
TABELA 23 – CUSTOS PER CAPITA OBTIDOS PELA 1ªMETODOLOGIA.....	74

TABELA 24 - CUSTOS PER CAPITA OBTIDOS PELA 2ªMETODOLOGIA.....	75
TABELA 25 - PERCENTAGEM DAS FASES DO SAA NO CUSTO GLOBAL DE INVESTIMENTO	
(1ªMETODOLOGIA).....	79
TABELA 26 - PERCENTAGEM DAS FASES DO SAA NO CUSTO GLOBAL DE INVESTIMENTO	
(2ªMETODOLOGIA).....	79
TABELA 27 - CUSTOS OBTIDOS COM A INTRODUÇÃO DE (E).	81
TABELA 28 - MENU DE INTRODUÇÃO DA DATA PARA OBTER OS COEFICIENTES DE ATUALIZAÇÃO	85

SIMBOLOGIA

A presente simbologia diz respeito apenas aos símbolos mais relevantes, podendo ao longo da dissertação, serem usados outros símbolos em casos específicos e não passíveis de ambiguidade:

CE_C	Custo de exploração com a conservação das infra-estruturas
CE_{EE}	Custo de exploração com energia elétrica
CE_R	Custo de exploração com o tratamento de águas
CE_{RH}	Custo de exploração com os recursos humanos
CE_{total}	Custo de exploração total
$CI_{Per\ Capita_{EE(H)}}$	Custo total de investimento per capita das estações elevatórias de acordo com uma dada altura de elevação
$CI_{Adução}$	Custo de investimento em condutas adutoras
$CI_{C.Cc}$	Custo de investimento da construção de captações de águas superficiais
$CI_{CA.Material}$	Custo de investimento das condutas adutoras por metro linear de acordo com o diâmetro e material da tubagem
$CI_{CA.Material.(Q)}$	Custo de investimento das condutas adutoras por metro linear de acordo com o caudal de dimensionamento e material da tubagem
$CI_{Captação}$	Custo de investimento na fase de captação
$CI_{CS.Eq.(H)}$	Custo de investimento dos equipamentos das captações de águas superficiais, de acordo com uma dada altura de elevação da água
$CI_{EE.Eq.(H)}$	Custo de investimento dos equipamentos das estações elevatórias de acordo com uma dada altura de elevação
$CI_{Elevação}$	Custo de investimento em estações elevatórias
CI_{ETA}	Custo de investimento em estações de tratamento de Água
$CI_{ETA.AS.Cc}$	Custo de investimento da construção de estações de tratamento de águas superficiais

<i>CI_{ETA.AS.Ceq.}</i>	Custo de investimento dos equipamentos das estações de tratamento de águas superficiais
<i>CI_{Per Capita C.(H)}</i>	Custo de investimento total per capita das captações de águas superficiais, de acordo com uma dada altura de elevação da água.
<i>CI_{Per Capita.ETA.AS}</i>	Custo total de investimento per capita das estações de tratamento de águas superficiais
<i>CI_{Per Capita.ETA.ASub}</i>	Custo total de investimento per capita das estações de tratamento de águas subterrâneas
<i>CI_{Per Capita.R.E.}</i>	Custo total de investimento per capita dos reservatórios elevados
<i>CI_{Per Capita.R.S.E}</i>	Custo total de investimento per capita dos reservatórios semi-enterrados
<i>CI_{Per Capita C.A.Material}</i>	Custo de investimento per capita das condutas adutoras por metro linear de acordo com o material da tubagem e população a servir
<i>CI_{RD}</i>	Custo de investimento em redes de distribuição
<i>CI_{RD.Material}</i>	Custo de investimento das redes de distribuição por metro linear de acordo com o caudal de dimensionamento e material da tubagem
<i>CI_{RD.Material.(Q)}</i>	Custo de investimento das redes de distribuição por metro linear de acordo com o diâmetro e material da tubagem
<i>CI_{RD.Material.(Q)}</i>	Custo de investimento per capita das redes de distribuição por metro linear de acordo com o material da tubagem e população a servir
<i>CI_{Reserva}</i>	Custo de investimento em reservatórios
<i>CI_{Total}</i>	Custo de investimento total
<i>CI_{Total.C.(H)}</i>	Custo de investimento total das captações de águas superficiais, de acordo com uma dada altura de elevação da água
<i>CI_{Total.EE.(H)}</i>	Custo total de investimento das estações elevatórias de acordo com uma dada altura de elevação
<i>CI_{Total.ETA.AS}</i>	Custo total de investimento das estações de tratamento de águas superficiais

$CI_{Total.ETA.ASub}$	Custo total de investimento das estações de tratamento de águas subterrâneas
$CI_{Total.R.E.}$	Custo total de investimento dos reservatórios elevados
$CI_{Total.R.S.E.}$	Custo total de investimento dos reservatórios semi-enterrados
D	Diâmetro da tubagem
H	Altura de elevação da água
P	População a servir pelo sistema de abastecimento de água
Pot	Potência dos grupo eletrobomba
γ	Peso específico da água
η	Rendimento dos grupo eletrobomba

LISTA DE ACRÓNIMOS

AdP	Águas de Portugal
CBA	Cost Benefit Analysis
CE	Custo de Exploração
CI	Custo de Investimento
CIFE	Comissão de Índices e Fórmulas de Empreitas
DGA	Direção Geral do Ambiente
EE	Estação Elevatória
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETA	Estação de Tratamento de Água
EUA	Estados Unidos da América
INCI	Instituto Nacional da Construção e Imobiliário
INE	Instituto Nacional de Estatística
IRAR	Instituto Regulador das Águas e Resíduos
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MAMAOT	Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território
MOPTC	Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações
PNA	Plano Nacional de Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
WLC	Whole Life Costing

1.1. Enquadramento

A água é responsável pela origem de tudo que temos no nosso planeta. Três quartos da área total do planeta Terra é ocupada por massa de água. O “Recurso Água” tem indubitavelmente associado a si uma valorização económica em virtude da ocorrência de situações de escassez. Estas situações ocorrem devido ao aumento do consumo, degradação da qualidade das origens da água e a crescente urbanização. A ocorrência desta situação levou ao surgimento dos mercados de água (Dragão, 2010). Nas duas últimas décadas, em vários países desenvolvidos e em desenvolvimento, estes mercados foram sendo introduzidos. Como são um instrumento económico que pode melhorar a eficiência da água, com a introdução dos mercados o utilizador pode ganhar maior benefício no uso da mesma (Liu & Easter, 2005).

As entidades responsáveis pelo sistema abastecimento têm como finalidade disponibilizar água em quantidade suficiente, nas condições técnicas adequadas, com a melhor qualidade possível e tendo em conta a concepção e gestão otimizada do sistema (Silva, Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos, 2001). Isto porque a água que se consome nos dias de hoje, deixou de ser uma preocupação de saúde pública e passou a ser considerada um produto alimentar de primeira necessidade, pelo que importa garantir a sua elevada qualidade e excelência (Martins T. J., 2014).

O sistema de abastecimento de água constitui a primeira fase de condução da água no seu ciclo de utilização e pode dividir-se em seis fases fundamentais: Captação; Tratamento, Adução, Reserva, Elevação e Distribuição. É possível dividir o capital associado aos sistemas de abastecimento em duas vertentes: custos de investimento e custos de exploração.

O custo é definido como sacrifício de recursos para se conseguir atingir um determinado objetivo. Já as funções custo são definidas como sendo funções que associam à produção de uma quantidade de uma determinada variável ao custo total. Um dos princípios básicos para as estimativas de custo é que estas devem ser simples, claras, de fácil entendimento e

alteração. Os resultados que advém das estimativas de custo devem ser um reflexo da realidade para que conseqüentemente não ocorram falhas graves nas decisões tomadas (Barros, 1995).

Se não existir um adequado conhecimento e controlo de custos é impossível realizar um controlo de qualidade de forma efetiva. A gestão estratégica de custos, deve ser um processo adotado para conseqüentemente se obter um melhor desempenho e maior competitividade (Dantas, 2001). Assim as decisões tomadas por um Engenheiro devem refletir uma escolha fundamentada acerca de como investir um determinado capital. Através da modelação e quantificação de custos é possível saber qual dos elementos de um sistema está a contribuir com maior ou menor percentagem para o custo final de um determinado produto. A metodologia descrita visa responder à necessidade de realizar um planeamento bem sucedido dos custos inerentes aos sistema, para que deste modo exista uma maior probabilidade de sucesso no projeto.

Em suma, as técnicas de modelação, quantificação e análise de custos ajudam as pessoas a tomar decisões. Concluiu-se portanto que estas técnicas implicam formular, estimar e avaliar os resultados (Nunes, 2010). Sendo assim, estas técnicas tornam-se num apoio fundamental para determinar a viabilidade de investimento num determinado projeto.

“ É na racionalidade das decisões de investimento que a colaboração entre a Engenharia e a Economia se torna mais evidente ” (Abecassis e Cabral, 1991).

1.2. Âmbito e Objetivos

Com a realização desta dissertação, pretendeu-se conhecer e compreender a importância da atualização das funções de custo de um sistema de abastecimento de água. De forma faseada os três objetivos principais são:

- Objetivo 1: Quantificar e modelar os custos associados aos sistemas de abastecimento de água de acordo com duas metodologias: 1. Funções custos obtidas através da aplicação dos preços de mercado atuais; 2. Funções custos obtidas com base no regime de revisão de preços; Obter estimativa dos encargos atuais de acordo com os dois métodos.

- Objetivo 2: Através do regime de revisão de preços (2) desenvolver um procedimento para solucionar o problema da constante desatualização das funções custos.
- Objetivo 3: Comparar e analisar os valores alcançados pelas duas tipologias. Estudar vias de desenvolvimento futuras para o trabalho realizado.

1.3. Estrutura Geral da Dissertação

O presente documento encontra-se dividido em sete capítulos. Para além desta nota introdutória, a dissertação engloba o Capítulo II – Estado de Conhecimento, onde se realiza uma análise e revisão às abordagens existentes sobre a temática da presente dissertação.

No Capítulo III – Fundamentos Teóricos, apresenta-se uma introdução teórica sobre as principais temáticas presentes na dissertação. De seguida, neste capítulo realiza-se uma abordagem de todo o processo associado ao sistema de abastecimento, desde da captação até à rede de distribuição de água, referindo os objetivos associados a cada uma das fases. É ainda realizada uma interpretação sobre o conceito de modelação e as vantagens que advêm da reprodução da realidade, assim como uma abordagem às tipologias e classificações dos modelos de caracterização de custos.

No que se refere ao Capítulo IV – Metodologias, realiza-se um enquadramento e uma descrição relativa aos dois métodos de quantificação e modelação de custos utilizados no presente trabalho. Neste capítulo realiza-se também um enquadramento legislativo sobre o regime de revisão de preços.

No Capítulo V – Casos de Estudo, refere-se inicialmente o procedimento para obtenção dos valores dos consumos de água inerentes a determinados aglomerados populacionais. Seguidamente, descreve-se o caminho percorrido até à obtenção das funções custo pelas duas metodologias, assim como são apresentadas as funções custo geradas.

No Capítulo VI – Discussão de Resultados, realiza-se uma comparação e confrontação dos resultados obtidos nos capítulo anterior pelos dois métodos, mais concretamente uma análise

dos resultados no que concerne aos custos de investimento e exploração per capita representativos da actualidade.

Por último no Capítulo VII – Conclusões e Indicações para Desenvolvimentos Futuros, são referidas as principais consequências da dissertação e apontada uma via de desenvolvimento para trabalhos futuro.

II. ESTADO DE CONHECIMENTO

Devido à importância do assunto da presente dissertação, pode-se afirmar que existe um grande número de investigações realizadas sobre esta temática. De seguida referem-se as indicações gerais das abordagens mais relevantes sobre o tema que foram revistas e analisadas. As análises e interpretações referidas contribuíram para o desenvolvimento da presente dissertação.

Ao abrigo do protocolo estabelecido em Janeiro de 1994 entre a Direção Geral do Ambiente e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, foram elaboradas no âmbito do projeto “Instrumentos de Apoio a uma Política de Desenvolvimento Sustentável em Saneamento Básico” dezasseis publicações com o objetivo de constituir um instrumento para apoio de políticas de desenvolvimento sustentável. O nono volume apelidado de “ Custos de Construção e Exploração” e integrado na série “*Gestão de Sistemas de Saneamento Básico*” foi elaborado por Lencastre, A., Carvalho, J., Gonçalves, J. e Piedade, M. e tem como objetivo avaliar os custos médios de investimento e de exploração dos sistemas de abastecimento e de saneamento básico assim como proceder a uma análise da influência da dimensão dos sistemas sobre os custos per capita resultantes da avaliação inicial. Os autores adotaram uma metodologia onde inicialmente procederam à determinação das curvas de custo dos diversos elementos do sistema em da função dos parâmetros característicos dos componentes. Seguidamente, ponderaram as necessidades das populações de forma a estabelecerem as correspondentes funções de custo expressas já em função da população servida. Os custos obtidos através desta metodologia são valores indicativos e referem-se às condições de mercado existentes no início do ano de 1994. Os autores com base em consultas do mercado, listas de preços de empreitadas e outras estimativas de custos das obras, procederam à obtenção dos custos unitários dos elementos. No que diz respeito à representação das curvas de custo, optaram por apresentar as mesmas graficamente indicando as correspondentes funções de custo utilizadas. Já no que concerne á obtenção dos custos de exploração a metodologia utilizada não foi uniforme, pois os autores recorrem tanto a dados diretos como a dados extraídos de outros documentos quando os primeiros não estavam disponíveis. Concluindo, esta abordagem evidenciou que existe uma acentuada redução dos

custos com o aumento da população servida, e a existência de uma influência determinante dos condicionalismos locais.

O Professor Doutor Júlio Ferreira da Silva da Universidade do Minho, elaborou em 2001, um trabalho apelidado de “*Estudos da Engenharia Urbana Aplicada aos Sistemas Urbanos*” que se trata de um reunião de apontamentos de discussão de Hidráulica Urbana. “*Benefícios e Custos associados às Utilizações da Água*” trata-se de uma capítulo deste trabalho onde se procedeu à abordagem dos tipos de modelos e metodologias na quantificação de benefícios e custos inerentes às utilizações de água. Inicialmente começa por abordar a diferença entre os modelos determinísticos e modelos estocásticos. Seguidamente, o autor divide os custos em duas fases, custos relativos ao investimento e inerentes à exploração dos diversos componentes do sistemas. Dentro desta divisão, procedeu ainda a uma subdivisão em sistemas de origens subterrâneas, sistemas de origens superficiais e por último em sistema de prevenção da qualidade, prevenção da degradação e da reabilitação ambiental. O autor refere no seu trabalho uma panóplia de funções que representam a caracterização dos custos associados aos diferentes órgãos. Concluindo, o documento assinala uma descrição dos custos de investimento e exploração associados aos sistemas de abastecimento de água.

Em 2002, um grupo de cinco Autores realizou um trabalho apelidado de “*Whole Life Costing for Water Distribution Network Management*”. O documento tem como objetivo a promoção do uso eficiente dos recursos para desenvolvimento das infraestruturas existentes. A metodologia *Whole Life Costing* visa responder à necessidade de encontrar o nível adequado de investimento de capital em infraestruturas, e também, de criar o essencial balanço entre as despesas operacionais e o capital investido, através de uma análise detalhada do desempenho global do sistema. Em suma, a WLC pretende atingir o menor custo de operação e fornecimento de um determinado recurso, quando todos os custos são analisados e processados. Este trabalho tem como pano de fundo a indústria Britânica, no que respeita aos serviços de abastecimento de água. Concluindo, os autores do trabalho investigam os custos associados aos recursos utilizados na rede de abastecimento, ou seja, realizam uma avaliação económica dos mesmos, para que seja possível a elaboração de um suporte de decisão otimizado e integrado na análise realizada primordialmente.

“*Handbook of Water Economics – Principles and Practice*” é um livro elaborado em 2003 por Colin Green. Este documento divide-se em vinte e três capítulos, onde são focados aspetos

importantes para a eficácia da implantação das decisões a tomar. De um modo geral, o livro apresenta os aspetos económicos inerentes a uma determinada escolha. O autor refere que uma decisão transporta incertezas e conflitos, e que a economia tem a finalidade de reduzir ou tentar eliminar essas duas propriedades inerentes a uma decisão a tomar. De seguida, o autor conduz estes princípios para as entidades gestoras dos serviços de água, fazendo deste modo a ligação dos dois sistemas retratados no livro: economia e água. De acordo com o último capítulo do livro, o autor assume que existem benefícios associados à implantação e gestão de um sistema de abastecimento integrado.

Em 2006, foi elaborado um estudo para a Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, por três investigadores portugueses denominado “*Cost Structure of the Portuguese Water Industry: a Cubic Cost Function Application*”. Este trabalho tem como finalidade, confirmar ou não, a ideia de que o mercado das águas em Portugal é um monopólio natural. Neste tipo de mercados, quando existe a necessidade de realizar um investimento no sistema a consequência no custo marginal é baixa. O conceito de monopólio natural surge igualmente quando uma única entidade gestora tem a capacidade de servir um mercado completo, com um conseqüente custo mais reduzido comparativamente com a hipótese de várias entidades gestoras servirem um esse mesmo mercado. Deste modo, os autores inicialmente realizaram uma avaliação da estrutura de custos das empresas gestoras dos serviços de água em Portugal, através da utilização de funções custo cúbicas. A opção por este tipo de expressões matemáticas, deve-se ao facto destas serem muito flexíveis no que diz respeito à modelação de custos. Depois, realizaram um enquadramento sobre o sector das águas em Portugal, onde foi entendido que o mesmo se apresenta como sendo muito fragmentado, devido ao número elevado de entidades existentes para o serviço de água. De seguida, e com base nos resultados obtidos, os autores concluíram que o mercado de águas português não se apresenta como um monopólio natural. Contudo, e de acordo com o impacto previsto no custo marginal, o estudo refere que seria positiva uma possível associação das pequenas e médias entidades gestoras dos serviços de água. No caso do território português, o IRAR enquanto regulador das entidades gestoras concessionárias de serviços de água e resíduos em Portugal, tem responsabilidades na sensibilização das entidades para as questões da qualidade na concepção, gestão e exploração dos sistemas (Alegre & Covas, 2006). De notar, que o IRAR a partir de 2009 e de acordo com o decreto lei aprovado pelo Governo Português (D.L. nº 277/2009) passou a denominar-se ERSAR.

O *TECHNEAU* é um projeto integrado e financiado pela Comissão Europeia, lançado em Janeiro de 2006 e implantado nos cinco anos seguintes. Inserido nesta investigação, está o artigo apelidado de “*Framework for Operational Cost Benefit Analysis in Water Supply*”, este tem como principais finalidades a criação de uma metodologia para comprovar a eficiência e os benefícios de métodos operacionais e sistemas de manutenção; e fornecer uma base de dados, para que seja criada uma base de decisão sobre a análise de custo-benefício. De um modo geral, o projeto estabelece uma metodologia ou estrutura para a realização de uma CBA, para que seja possível fornecer as informações necessárias para avaliar a rentabilidade da implementação de um determinado investimento.

A dissertação de Mestrado em Planeamento Regional e Urbano da Universidade de Aveiro, realizada pelo João Dragão Gomes em 2010, com o tema “*Custos de Construção de Infra-Estruturas de Abastecimento de Água e de Saneamento*” faz referência aos principais custos unitários associados à construção de infra-estruturas de abastecimento de água e saneamento. Num dos temas desta dissertação, o autor refere-se inicialmente aos critérios gerais de concepção e pré-dimensionamento das redes de abastecimento, seguidamente em função da material da tubagem e da classe de pressão prossegue para uma abordagem aos custos unitários das condutas adutoras, condutas distribuidoras, reservatório e estações elevatórias. O autor faz ainda uma referência aos custos com a energia inerentes ao funcionamento de um estação elevatória, pois estes, representam um encargo significativo no que diz respeito aos custos com a energia elétrica no que concerne aos encargos de exploração de um sistema de abastecimento de água.

A dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Coimbra, denominada “*Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água*”, realizada pelo Ricardo de Jesus Gomes em 2011, é dirigida a questões relacionadas com as infra-estruturas de abastecimento de água e aos problemas relacionados com a gestão e exploração dos sistemas públicos de abastecimento. Nesta dissertação, o autor apresenta as principais técnicas de otimização combinatória, apresentado os conceitos fundamentais do algoritmo de optimização escolhido, assim como as condições necessárias à sua implementação. O mesmo afirma que os modelos computacionais devidamente calibrados, são ferramentas essenciais quando se pretende atingir elevados níveis de eficiência em termos de gestão de sistemas, pois fornecem informação de elevada importância para estudar a viabilidade e sustentabilidade económica de um projeto.

Foi publicado um artigo, em 2012, idealizado por Frank Ward denominado “*Cost-Benefit and Water Resources policy: A survey*”. No trabalho foi realizada uma pesquisa sobre a evolução recente da análise custo-benefício sobre as políticas de água. Isto porque o autor refere, tal como o documento analisado e abordado anteriormente “*Framework for Operational Cost Benefit Analysis in Water Supply*”, que a realização de uma análise custo-benefício fornece aos decisores políticos uma confrontação de possíveis ganhos ou perdas, levando a decisão a ter uma base de eficiência económica. De um forma geral, o autor indica que se existirem estes tipo de análises relativamente aos custos referentes ao transporte de água para os consumidores são atingidos três objetivos específicos: 1.Eficiência económica; 2.Equidade; 3.Sustentabilidade. No artigo é ainda referida a questão relativamente aos desafios futuros que vão permanecer, e irão ter influência elevada no que diz respeito ao abastecimento de água e consequentemente aos custos referentes ao sistema, como por exemplo a necessidade constante de identificar as variações climáticas, o que leva a períodos de seca ou inundações, e que consequentemente provoca uma instabilidade no abastecimento de água. Em suma, o autor através deste artigo tem como objetivo que a sua pesquisa tenha uma impacto positivo nas decisões a tomar relativamente aos mercados de água e ao seu futuro desenvolvimento.

“*Service quality, scale economies and ownership: an econometric analysis of water supply costs*” é o nome de um artigo publicado em Março de 2014. Os dois autores inicialmente realizaram uma modelação dos custos associados aos consumidores de acordo com dados do serviço público de águas dos Estados Unidos da América. Seguidamente, procederam à realização de uma avaliação à qualidade dos serviços prestados no abastecimento de água, de modo a perceber e a quantificar a possível diferença de custos que está inerente a uma melhoria da qualidade de serviços. De um modo geral, o estudo tem como finalidade compreender a relação entre a estrutura de custos de água e a qualidade de serviços prestados, para que as autoridades que realizam a gestão destes serviços consigam conciliar a finalidade de realizar um serviço com maior qualidade e paralelamente fazer com que não haja uma diferença significativa nos custos do serviços para os consumidores. Para introduzir a dimensão da qualidade no modelo de custos pré-definido, os autores procederam à introdução de uma variável (q) que caracteriza a qualidade do produto e de uma variável (y) que representa a quantidade do produto, nas funções obtidas através da modelação de custos:

$$C = C (y, q) \tag{1}$$

Para quantificar a qualidade presente nos serviços de abastecimento nos EUA, os autores tiveram em conta três indicadores: perdas de água existente durante o abastecimento, indicadores da qualidade de água servida e o número de reclamações indicadas pelos consumidores. Desta forma, concluíram que se uma empresa responsável pelo serviço de distribuição de água desejar ter maior qualidade na água que serve aos consumidores, existe indubitavelmente um maior encargo associado ao serviços prestados. Sendo assim e de acordo com uma análise efetuada aos números obtidos pelos autores, é possível afirmar que existe uma ligação entre os dois indicadores estudados (custo e qualidade) tradicionalmente denominada por *trade-off*. Esta expressão diz respeito a uma situação onde existe um conflito de escolha, ou seja, a uma relação de “perde-ganha”, isto é, associado ao procedimento de resolução de um determinado problema está associado um surgimento de um outro problema. Por último, o trabalho analisado faz ainda uma referência, a que um investimento associado a uma melhor qualidade dos serviços prestados tende a ser menos dispendioso para os consumidores quando concerne a empresas públicas de gestão do abastecimento de água, do que comparativamente se for realizado em empresas gestoras privadas.

Em Agosto de 2014, dois investigadores Sul-Coreanos publicaram uma investigação denominada “*Optimal Planning of Water Supply Systems for long-term sustainability*”. O trabalho realizado tem como objetivo a obtenção de um modelo de optimização para um projeto de um sistema de abastecimento de água a longo prazo, na Coreia do Sul. Os autores procederam à aplicação de vários cenários plausíveis, de acordo com os consumos existentes da população. Desta forma, e com a introdução de algoritmo em concordância com um modelo de programação linear, através do *software MATLAB* foi possível obter as funções representativas dos custos óptimos para um possível sistema de abastecimento de água, representativas do mercado e dos custos praticados no país dos autores. Ao longo do trabalho realizado, os autores referem ainda a elevada importância da correta determinação dos valores de investimento na construção de um sistema de abastecimento, tendo sempre em conta os consumos da população futuramente. Apesar da obtenção as funções custo optimizadas. Afirmam igualmente que o estudo realizado contém varias limitações, que estarão sempre associados a este tipo de projetos, como por exemplo, a incerteza relativamente aos consumos futuros de uma determinada região, assim como, as hipóteses admitidas ao longo do processo de obtenção das funções optimizadas.

3.1. Sistemas de Abastecimento de Água

3.1.1. Introdução

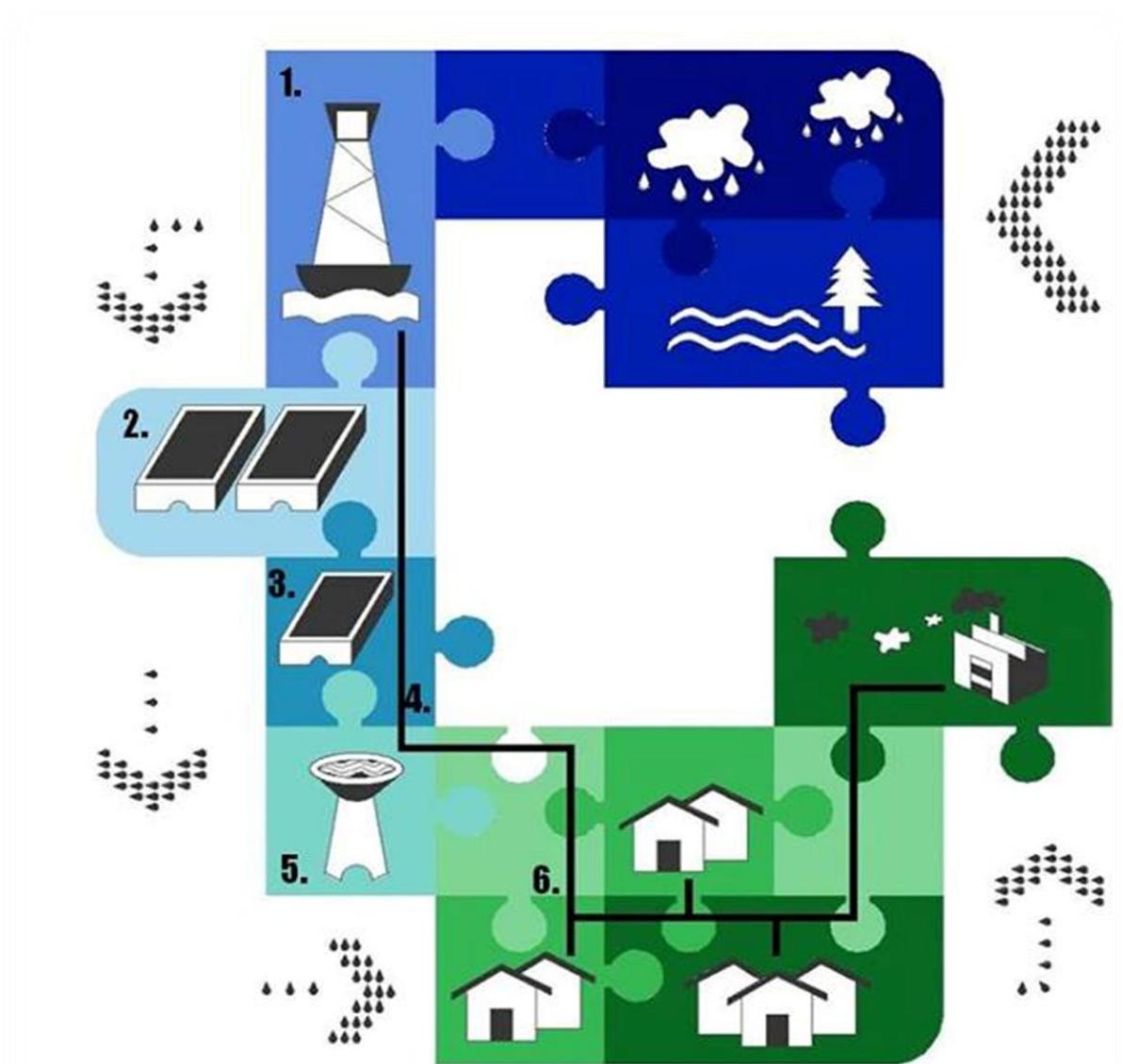


Figura 1 - Esquema de um Sistema de Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento de água constitui a primeira fase de condução da água no seu ciclo de utilização e pode dividir-se em seis fases fundamentais: 1.Captação. 2.Tratamento. 3.Elevação. 4.Adução. 5.Reserva. 6.Distribuição, como se pode visualizar através da figura 1. Para que ocorra um desenvolvimento sustentável da nossa sociedade, é necessário que existe um sistema de abastecimento de água, uma vez que este é responsável pelo transporte de um bem cada vez mais precioso como é a água potável. A garantia da boa qualidade da água para consumo humano, fornecida por um sistema de abastecimento de água público, é um elemento primordial nas políticas de saúde pública. (Vieira, Valente, Peixoto, & Morais, 2006). Um sistema de abastecimento é caracterizado pela captação de água à natureza, fornecendo-a depois de corretamente tratada aos consumidores. Deste modo, o estudo e compreensão do sistema de abastecimento permite produzir efeitos em duas áreas distintas: 1.Sanitária e social; 2.Económica. O produto relacionado com a área sanitária e social diz respeito à obtenção de garantias de boas condições de vida de uma comunidade, passando pela saúde, bem-estar e conforto desta. Diz igualmente respeito à questão da melhoria da limpeza pública e aumento da esperança de vida. Já na segunda área de efeitos, pode-se enumerar o incentivo à instalação de indústrias e instalações turísticas, onde a água é um meio de operação ou matéria-prima, de igual modo pelo aumento da vida produtiva dos indivíduos economicamente ativos (Vilas-Boas, 2008)

A cada uma das partes representativas do sistema de abastecimento correspondem órgãos, constituídos essencialmente por obras de construção civil, acessórios, equipamentos (eletromecânicos e elétricos) e equipamentos de automação. Cada uma destas partes têm associada a si um determinado objetivo/função que vão ser referidos ao longo dos subcapítulos seguintes.

3.1.2. Captação

A fase de captação define-se como um conjunto de dispositivos e estruturas construídas junto ao curso de água com a finalidade de retirar água destinada ao sistema de abastecimento (Bardalez, 2007). Sendo assim, pode-se afirmar que a captação tem como objetivo principal a recolha de água natural de forma contínua, em quantidades necessárias e com os requisitos mínimos de qualidade. Consoante a natureza das condições do local de recolha, surgem dois tipos de captação: captações em águas superficiais e captações em águas subterrâneas. Este

tipo de obras devem ser projetadas para um funcionamento ininterrupto ao longo de todo o ano, e tradicionalmente são compostas por uma zona de recolha, uma pequena reserva e um pré-tratamento da água. É de evitar a contaminação da água no momento de extracção desta, rejeitando assim a introdução de microorganismos. Deste modo, deve-se analisar os materiais a usar na construção da obra de captação para não conferir à água nenhum tipo de sabor ou odor para que não exista degradação das qualidades da água bruta. É portanto de elevada importância um estudo preliminar sobre o local de implantação da obra de captação.

As captações superficiais, é possível visualizar um exemplo desta na figura 2, acontecem tradicionalmente em meios hídricos como rios, lagos ou albufeiras. Nestas, a recolha da água deve ter lugar o mais montante possível, para que diminua o risco de poluição das águas através de efluentes industriais ou urbanos que possam existir. Deve-se por isso ter em especial atenção, fatores como a distância da captação à estação de tratamento, facilidade de acesso, necessidade ou não de estações elevatórias, assim como referido anteriormente, a necessidade de energia eléctrica para alimentação dos motores. As águas superficiais existem em maior quantidade e permitem geralmente maiores caudais de captação comparativamente com as águas subterrâneas, apresentando por outro lado, piores condições de qualidade, é por isto que a maior parte das grandes cidades se abastecem de águas superficiais e possuem complexas estações de tratamento (Ribeiro de Sousa,2001).



Figura 2 - Captação de águas superficiais de Santa Águeda, Castelo Branco (*www.adp.pt*)

No que diz respeito às captações subterrâneas estas podem ser efetuadas a diferentes tipos de profundidades. Pode-se classificar esta tipologia em quatro tipos: obras horizontais (drenos),

obras verticais (poços), obras mistas (poços com drenos radiais) e câmaras de captação. A selecção de um destes tipos de captação está inerente à natureza das estrutura e características do aquífero. A captação subterrânea consiste basicamente, uma vez detetada a capacidade de um aquífero e verificada a intersecção da superfície piezométrica do terreno, na execução de obras que conduzem à recolha das referidas águas. (Correia, 1980)

A qualidade das águas subterrâneas depende do percurso efetuado durante o ciclo hidrológico e das características do solo que atravessam, mas tradicionalmente apresentam boa qualidade (Silva, Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos, 2001). O LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, refere que um reservatório de água subterrânea, também designado por aquífero, pode ser definido como toda a formação geológica com capacidade de armazenar e transmitir a água e cuja a exploração seja economicamente rentável. Uma das principais diferenças neste tipo de captação, contrariamente à captação em superfície, é que neste caso não existe uma variação significativa de caudal ao longo do tempo. Na presente dissertação apenas se irá quantificar o investimento a realizar na construção de uma captação de águas superficiais.

3.1.3. Estações de tratamento de águas

O tratamento de água consiste numa etapa onde são conferidas as características adequadas para o consumo de água, através de processos físicos, químicos e biológicos. Quando se realiza o processo de captação, a água recolhida contém uma determinada percentagem de materiais prejudiciais, definindo deste modo a qualidade da água bruta. O tratamento de água realizado numa estação de tratamento, deverá fornecer e garantir à população água de boa qualidade, do ponto de vista físico, químico, biológica e bacteriológico, sem impurezas prejudiciais á saúde humana (Bardalez, 2007). É possível então referir que uma ETA têm como principal finalidade garantir água potável para consumo, sendo esta, definida como água límpida, incolor, inodora, arejada, isenta de matéria orgânica, substâncias tóxicas e germes patogénicos. Na figura 3 é possível notar uma estação de tratamento de águas.

A produção de água potável a partir de água bruta, obedece a normas de qualidade, tais como as apresentas no Decreto Lei 236/98, de 1 de Agosto. Este documento estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Os processos de tratamento de água

bruta são bastante variados de acordo com as características da água captada. Nas águas recolhidas através de captações subterrâneas, tradicionalmente, é apenas necessária uma correção química e desinfecção. Já no caso das águas das captações superficiais, normalmente implica um conjunto de procedimentos de tratamento, tais como: Pré-tratamento, Pré-oxidação, Coagulação, Floculação, Doseamento de carvão em pó, Flotação, Filtração, Desinfecção e Controlo de qualidade. É possível afirmar que existem diferenças significativas no que se refere ao tipo de tratamento consoante a água advenha de captação subterrânea ou superficial, e dentro de cada um destes, existem ainda procedimentos diferentes consoante as características específicas da água recolhida. No presente trabalho foram quantificados os custos para o investimento de construção tanto para uma estação de tratamento de águas superficiais como para águas subterrâneas.



Figura 3 - ETA de Areias de Vilar, Barcelos (www.adp.pt)

3.1.4. Estações elevatórias

As estações elevatórias, são peças fundamentais apenas quando existe a necessidade da água, seja bruta ou tratada, se deslocar de um nível inferior para um nível mais elevado, para que possa fluir no sistema de abastecimento quando a gravidade não o permite (Martins T. J., 2014). Tradicionalmente, as EE são unidades providas de bombas hidráulicas, motores, órgãos acessórios, tubagens e equipamentos de medição e controlo, como se pode observar na figura 4. Têm como a finalidade elevar e aumentar a pressão do líquido num sistema de captação ou distribuição de água, e realizam-se a partir de um reservatório em superfície livre. As estações elevatórias introduzem portanto energia no escoamento, quando é necessário

facilitar e acelerar o processo de transporte ou passar um determinado obstáculo. Estas são caracterizadas de acordo com o grupo eletrobomba que utilizam e pelas condições em que estes estão instalados (Silva, Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos, 2001). Normalmente a escolha recai sobre bombas centrífugas. Estas são compostas por dois elementos: o impulsor e o corpo. Existem diversos tipos de classificação destas bombas, entre os mais comuns, estão as classificações quanto ao tipo de impulsor, número de impulsores e direcção do eixo.



Figura 4 - Estação Elevatória de Alcanhões, Santarém (www.adp.pt)

3.1.5. Adução

A adução é a etapa da condução da água desde do ponto da sua captação até à rede de distribuição. Deste modo, a adução interliga a fase de captação, reserva, elevação e tratamento de águas. A adução pode ocorrer de diversas maneiras, tendo em conta o modo como a energia é utilizada, assim surgem três tipos de adução: por gravidade, por bombeamento e mista. No primeiro tipo o escoamento acontece sem necessidade de recorrer a energia eléctrica para a sua operação utilizando apenas a gravidade como força de escoamento, deste modo esta opção torna-se mais favorável economicamente apesar de que está directamente ligado às características topográficas do local da sua implantação. Já na segunda opção o escoamento acontece sob pressão, o que faz com que se tenha a necessidade de se recorrer a estações elevatórias, neste caso existe um consumo energético associado ao escoamento. No último caso, o escoamento acontece de acordo com as duas possibilidades anteriores.

A adução independentemente do tipo de escoamento em que ocorre, faz-se tradicionalmente em canais ou galerias, e apresenta-se na maior parte dos casos como sendo a fase mais delicada de projetar e construir. As adutoras poderão apresentar um elevado comprimento, o que faz com que esteja inerente um elevado investimento, na figura 5 pode-se visualizar um exemplo de uma conduta adutora. Devido ao custo de investimento elevado presente nesta fase e tendo também em conta o custo de manutenção ao longo dos tempos que será necessário, é de elevada importância realizar um adequado dimensionamento. Deste modo, devem ser tidos em conta aspetos fundamentais no transporte de água através de condutas adutoras, tais como o traçado (planta e perfil), a extensão, material a utilizar, dimensionamento hidráulico, protecção interior e exterior e órgãos acessórios (manobra e segurança).



Figura 5 - Adutora, Nova Sintra, Gondomar (*www.adp.pt*)

3.1.6. Reservatórios

A necessidade de armazenamento de água nos reservatórios durante o seu percurso no SAA, resulta da impossibilidade económica das adutoras serem projetadas para garantirem o abastecimento em qualquer circunstância de funcionamento (Vilas-Boas, 2008). Tal como as estações elevatórias os reservatórios apresentam-se como elementos funcionais para a adução e distribuição de água, sendo desta forma possível explorar racionalmente um sistema de abastecimento de água. No que diz respeito aos objetivos inerentes á construção de um reservatórios, o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de água e de Drenagem de Águas Residuais refere no artigo 67º que:

“Os reservatórios têm principalmente as seguintes finalidades:

- a) Servir de volante de regularização, compensando as flutuações de consumo face à adução;
- b) Constituir reservas de emergência para combater incêndios ou para assegurar a distribuição em casos de interrupção voluntária ou acidental do sistema de montante;
- c) Equilibrar as pressões na rede de distribuição;
- d) Regularizar o funcionamento das bombagens.”

O Regulamento refere ainda no artigo 68º, que os reservatórios classificam-se de acordo com: a sua função, consoante a sua implantação (enterrados, semi-enterrados, elevados) ou consoante a sua capacidade de armazenamento. Tradicionalmente os reservatórios são construídos em locais de cota mais elevada comparativamente com a cota do aglomerado populacional a servir, isto para que o escoamento seja realizado através de forças gravíticas e para garantir um valor mínimo de pressão.

Os reservatórios semi-enterrados, são aqueles que uma parte da construção se encontra abaixo do nível do terreno a restante acima do mesmo, como se entende pela figura 6. Este tipo de reservatórios permite uma maior facilidade de acessos as suas instalações comparativamente com os reservatórios totalmente enterrados (Ramos, 2010). Os reservatórios elevados, são elaborados quando existe a garantia de uma pressão mínima na rede e as cotas do terreno não oferecem condições para que este seja do tipo térreo. Como desvantagens apresentam a particularidade de não armazenarem quantidades elevadas de água, assim como o impacto visual dessa tipologia, e a inerente dificuldade de construção destes reservatórios.



Figura 6 - Reservatório Semi-Enterrado, Fazarga, Fátima (www.centralprojetos.pt)

3.1.7. Rede de distribuição

A rede de distribuição representa a fase final de um sistema de abastecimento de água, na qual se procede ao fornecimento de água potável ao aglomerado populacional, a distribuição é efetuada por intermédio de condutas de rede pública, que devem ser dimensionadas de modo a permitir o fornecimento de água às instalações dos edifícios em quantidade suficiente, pressão adequada e qualidade desejável. A rede de distribuição deve ser dimensionada de acordo com o caudal, pressão e diâmetro. Deste modo, a distribuição de água constitui a etapa final de todo o sistema e pode ser dividida de acordo com o tipo de associação de condutas, surgindo três tipos de redes: ramificadas, emalhadadas e mistas. Através de estudos técnico-matemáticos podem ser escolhidos o tipo de material a utilizar, assim como o diâmetro necessário para efetuar a distribuição (Silva, Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos, 2001)

Dentro desta fase do sistema de abastecimento é possível surgir uma ligação domiciliária, denominada tradicionalmente por ramais de ligação, com a finalidade de assegurarem o abastecimento predial de água, desde da rede pública até ao limite da propriedade a servir. No presente trabalho não se realiza a modelação e quantificação destes custos pois normalmente os mesmos são diretamente imputados ao consumidor. Relativamente aos componentes principais de uma rede de distribuição, pode-se afirmar que esta é composta por um conjunto de tubagens e elementos acessórios. Dentro dos últimos é possível ainda referir as válvulas de seccionamento, descargas de fundo, ventosas, dispositivos de redução de pressão, hidratantes de combate a incêndio entre outros.

3.1.8. Custos

Os encargos relativos aos serviços de abastecimento de água estão associados a determinados indicadores como: a tecnologia dos equipamentos utilizados no sistema, a dimensão da área a servir, a topografia, assim como a densidade de habitantes existente na área a servir (Destandau & Garcia, 2014). O capital que diz respeito aos sistemas de abastecimento divide-se em duas vertentes: custos de investimento em infra-estruturas e custos de exploração. O CI relaciona-se com os encargos iniciais essenciais para a construção e instalação dos variados equipamentos necessários ao sistema. O custo total de investimentos associado aos sistemas

de abastecimento incorpora os encargos referentes às seis fases e traduz-se na seguinte expressão:

$$CI_{Total} = CI_{Captação} + CI_{Elevação} + CI_{Reserva} + CI_{ETA} + CI_{Adução} + CI_{RD} \quad (2)$$

Já o CE correspondem a todos os encargos associados às atividades de gestão, para que seja garantido o normal funcionamento do sistema, dentro das qualidades e quantidades exigíveis. Pode-se dividir os custos de exploração do sistema de abastecimento em: custos variáveis e custos fixos, quantificados numa relação empírica de 40% e 60% respetivamente. Os custos variáveis são representativos dos custos operativos, por outro lado, os custos fixos são constituídos pelos encargos relativos com os recursos humanos, com a manutenção, gastos administrativos, investimentos e outros. Na tabela 1 sintetiza-se a informação relativa aos encargos de exploração.

É de conhecimento geral que a fatia principal destes encargos é referente ao custo da energia elétrica, aos produtos químicos utilizados no tratamento de águas (reagentes), aos custos com os recursos humanos e aos custos com a conservação do património inerente ao sistema de abastecimento (Gomes H. P., 2005). Deste modo, no presente trabalho apenas se irá realizar uma quantificação destas parcelas, visto que já se revelam representativas dos custos de exploração. Sendo assim admite-se que o custo de exploração do sistema traduz-se na seguinte expressão:

$$CE_{total} = CE_{EE} + CE_{RH} + CE_R + CE_C \quad (3)$$

Tabela 1 - Custos de Exploração

Custos Fixos	
Recursos Humanos	Salários; Subsídios e encargos sociais; Horas Extraordinárias; Fardamento; Prémios; Seguros; Deslocações e Estadias; Formação.
Manutenção	Reparações Locais; Reparções Externas; Conservação da obra civil e pinturas; Manutenção de equipamentos electrónicos, instrumentação, eléctricos, pneumáticos, hidráulicos, mecânicos e eletromecânicos; Manutenção de espaços verdes, envolventes e arruamentos; Lubrificantes; Peças de reserva; Material de limpeza; Ferramentaria; Desinfecções; Aluguer de equipamentos.
Administrativos	Comunicações; Custo com veículos; Combustíveis; Ar condicionado; Registos de informação.
Investimentos	Melhorias; Obras novas e remodelações; Aquisição de peças de reserva; Aquisição de materiais e equipamentos de medição.
Outros	Contratos de assistência técnica; Reservatórios e cisternas de grupos de bombagem.
Custos Variáveis	
Operação	Custos com produtos químicos e outros; Energia; Água; Controlo analítico.

Ainda neste subcapítulo é importante denotar que o serviço prestado pelo sistema de abastecimento de água tem um determinado custo aos consumidores, isto pois as entidades responsáveis pelo planeamento e gestão dos sistemas de abastecimento necessitam de uma

retribuição pelos serviços prestados. A definição de tarifas aos consumidores é então o principal critério para retorno do capital investido. Como já foi referido anteriormente, os custos que estão presentes no SAA concernem à construção ou renovação de infra-estruturas e aos encargos relativos à exploração do sistema. Sendo assim, o preço definido para venda da água deverá assegurar a recuperação dos custos investidos, gerar capital para um investimento futuro nas várias componentes do sistema, e se for o caso de um entidade gestora privada o retorno de um eventual lucro (Silva, Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos, 2001).

De um modo geral, para existir uma recuperação do capital, é imprescindível que o preço médio a despendido pelo consumo de água seja pelo menos igual ao custo médio de serviço, visto que se este for menor a entidade responsável pelo planeamento e gestão do sistema de abastecimento de água não viabiliza o fornecimento contínuo de água (Cruz, 2010). Desta forma aceita-se afirmar que a recuperação de capital é um benefício direto para a empresa responsável pelo adequado funcionamento do sistema de abastecimento de água.

Desta forma, é possível realizar uma distribuição das três tipologias de custos, referidas anteriormente, em duas categorias: despesas e receitas. Na primeira inserem-se os custos de investimento e exploração; já no que se refere à segunda categoria nesta inserem-se os custos provenientes das tarifas a pagar pelos consumidores. Somente com o conhecimento claro dos valores provenientes das duas categorias é que é possível realizar uma análise custo-benefício ao planeamento e gestão do sistema de abastecimento de água.

3.2. Modelação de Custos

3.2.1. Classificação de modelos

Na literatura sobre o tema, o conceito modelação é definido como sendo uma representação da realidade, ou seja, uma imagem real dos aspetos considerados relevantes para determinado contexto ou ponto de vista. Por outras palavras, o termo modelação está associado ao ato ou efeito de simulação de alguma qualidade.

Os modelos de simulação podem ser classificados inicialmente como físicos ou matemáticos. No que concerne à modelação física, esta tem como finalidade projetar um protótipo de um

equipamento em estudo. Já a modelação matemática não é mais do que uma representação abstrata da realidade através de equações. Pode-se referir que a construção de um modelo físico é muitas vezes utilizado para complementar os cálculos efetuados através do modelo matemático. Na presente dissertação, o trabalho desenvolvido diz respeito a um modelo de simulação matemático representativos dos custos associados aos sistemas de abastecimento de água. (Capitão, 2003)

Dentro dos modelos matemáticos existem ainda diferentes classificações. Inicialmente podem-se dividir os modelos em estáticos ou dinâmicos, seguidamente é ainda possível dividir os modelos dinâmicos em determinísticos ou estocásticos. No que concerne à diferença entre a primeira classificação, os modelos estáticos visam representar o estado de um sistema para um determinado momento no tempo, neste caso as variáveis permanecem constantes com o passar do tempo, já o contrário acontece nos modelos dinâmicos onde as variáveis não permanecem constantes ao longo do tempo, ou seja, se existir uma alteração nas variáveis de entrada irá existir uma consequente alteração nas variáveis de saída.

No que concerne aos modelos determinísticos e estocásticos, pode-se afirmar que os primeiros permitem o uso de determinadas variáveis assumindo-as como exatas, determinando desta forma precisamente o resultado do modelo, já no segundo modelo existe a integração de elementos aleatórios no cálculo do resultado, ou seja os valores obtidos têm origem em procedimentos não específicos. A Figura 7 apresenta uma sintetização das tipologias de classificação dos modelos de simulação referidas anteriormente.

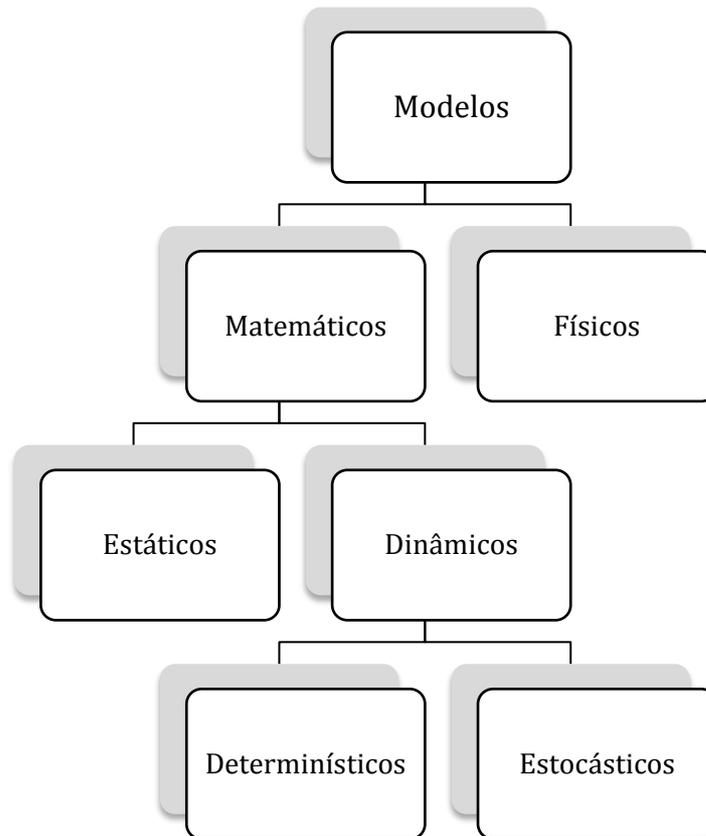


Figura 7 - Classificação de modelos de simulação

3.2.2. Benefícios e desvantagens associadas à modelação

No ramo da engenharia a adoção de técnicas de modelação têm associadas a si determinados benefícios, tais como:

1. Descrever o comportamento de um sistema (estimativa de resultados);
2. Construir teorias com base nos resultados obtidos;
3. Prever o comportamento futuro, isto é, prever os efeitos produzidos por uma alteração no sistema, sem consequências para o sistema real;
4. Reduzir os riscos inerentes a uma possível tomada de decisão;
5. Revelar a viabilidade, ou não, de um determinado projeto em termos técnicos e económicos;
6. Perceber quais são as variáveis de maior importância, isto é, entender quais são as que têm maior preponderância nos resultados obtidos;

Deste modo, as estimativas de custo obtidas através da modelação de custos devem ser apresentadas de forma que possam ser entendidas, controladas e verificadas para que não ocorram falhas graves nas decisões que tenham tido como base esses valores. É então possível afirmar que o conhecimento de estimativas de custos é uma premissa fundamental para o planeamento, selecção de investimentos e apoio a decisões a tomar a médio e longo prazo. No caso do sistema de abastecimento de água, a modelação de custos tem como principal benefício tornar-se uma via para que as metas de redução de custos e maximização de eficiência sejam alcançadas, isto é, é um ponto de partida para o desenvolvimento de modelos de optimização do sistema de abastecimento de água.

Uma das principais vantagens que está inerente à modelação, é a capacidade de simular uma proximidade elevada com a realidade, sem que a realidade seja perturbada ou alterada, o que permite ao modelador utilizar o modelo criado inúmeras vezes de forma a avaliar projetos e decisões (Filho, 2008). A modelação é desta forma uma reprodução dos aspetos essenciais de um sistema, apresentando conhecimentos desse sistema de uma forma utilizável. Contudo, a modelação matemática dos custos apresenta algumas dificuldades, isto é, tem associada a si determinadas desvantagens como por exemplo a dificuldade de interpretação dos resultados obtidos pelo modelo; muitas vezes são admitidas simplificações nos modelos o que leva a resultados insatisfatórios e menos próximos da realidade; por último, os valores obtidos de acordo com os dois modelos para representar um mesmo sistema, modelos esses elaborados por pessoas diferentes, dificilmente serão iguais, o que faz com que a modelação por um lado seja um procedimento dinâmico e moldável ao valores de entrada, e isso faz com que seja um procedimento onde deve existir sempre um nível de ponderação e prudência elevado (Filho, 2008).

3.2.3. Funções custo

Na presente dissertação, as fórmulas matemáticas são referidas como funções custo, pois as estas são utilizadas para prever e refletir o encargo associado a uma determinada acção ou a um certo nível de produção (Nunes, 2010). De um modo geral, as funções surgem quando uma variável depende de uma ou de mais variáveis. Tradicionalmente as funções podem ser denominadas como lineares, potenciais, exponenciais, logarítmicas, polinomiais, entre outras. As regressões permitem deduzir a relação entre a variável dependente ou de saída com as

variáveis independentes ou de entrada, ou seja, através da realização de regressões é possível obter funções. No presente trabalho temos como variável dependente o custo (C), seja de investimento ou exploração, e como variáveis independentes temos a população (P), altura de elevação (H), caudal (Q) e capacidade (Cap). Para obtenção das expressões matemáticas, se o custo apenas depender de uma variável independente existe a necessidade de realizar uma regressão simples, se o custo depender de mais do que uma variável realiza-se a denominada regressão múltipla. Para realização desse tipo de regressões foi utilizado o *software Excel*, este ajusta os dados associados à regressão de acordo com o método dos mínimos quadrados, sendo tradicionalmente a técnica mais utilizada para tal efeito. De uma forma geral, este método consiste em estimar a melhor combinação para um determinado conjunto de dados com a finalidade de minimizar o somatório dos quadrados das diferenças entre a curva real dos dados e a curva ajustada. (Fonte, 1994). Associado à obtenção das expressões matemáticas representativas de uma determinada curva ajustada está o coeficiente de determinação (R^2). É importante esclarecer o significado de R^2 , visto que está presente na maior parte das expressões apresentadas ao longo do documento, este indica o quanto fiel é uma regressão simples ou múltipla, é portanto uma medida que nos indica a aleatoriedade dos dados obtidos, quanto menos aleatório mais próximo estará de $R^2=100\%$. Pode ser igualmente denominado de coeficiente de determinação (Guy Williams, 2006).

As funções custos relativas ao investimento ou exploração do sistema de abastecimento de água são na maior parte dos casos apresentadas na forma de potência:

$$C = ax^b \quad (4)$$

Onde C representa o custo do investimento ou de exploração, x representa a variável independente (base) e b representa o expoente da potência. De acordo as funções custo obtidas na presente dissertação e tendo em conta as abordagens analisadas sobre a temática, é possível referir que o expoente da potência é geralmente menor que um, e indica de que forma os custos aumentam ou diminuem de acordo com o crescimento da variável independente, isto é, se o valor de b se encontrar entre o intervalo de valores ($0 \leq b \leq 1$) pode-se afirmar que existirá uma tendência para o aumento do custo (crescente), por outro lado se o valor de b estiver no intervalo de valores entre ($-1 \leq b \leq 0$) o custo terá uma tendência para diminuir de acordo com o aumento da variável independente (decrescente), assumindo-se que o valor da base é superior a zero. (Friedler & Pisanty, 2006).

IV. METODOLOGIAS

4.1. Procedimentos

Como referido anteriormente, foram utilizadas duas metodologias para se realizar a quantificação e modelação dos encargos representativas do sistema de abastecimento de água:

1. Modelação e quantificação dos custos através da aplicação dos preços do mercado representativo de 2014 (atualização de custos);
2. Modelação e quantificação dos custos com base no Regime de Revisão de Preços;

De um modo geral, as duas metodologias decorrem de acordo com os cinco pontos apresentados de seguida:



Ponto nº 1: Na elaboração dos estudos de sistema de abastecimento de água é indispensável conhecer a situação demográfica a servir, isto é, ter conhecimento da população residente e flutuante numa determinada zona, para obtenção do respetivo consumo de água, independentemente da metodologia que estejamos a utilizar para realizar a modelação. Foi deste modo necessário estimar inicialmente os caudais de dimensionamento que estão inerentes a determinada população de projeto. As solicitações inerentes aos diversos consumidores de água devem ser convenientemente caracterizadas e quantificadas (Silva, Haie, & Vieira, 2003).

Ponto nº 2: Obtenção das tabelas de quantidades de trabalho, tradicionalmente denominadas por medições-tipo. Estas tabelas refletem as quantidades de trabalho necessárias para a construção de todas as parcelas associadas a cada uma das fases do sistema de abastecimento de água, isto é apresentam as quantidades a utilizar dos materiais em cada fase do sistema de abastecimento de água, o valor das áreas para a construção civil, passando pela quantidades de movimento de terra até ao volume de escavações e aterros, entre outros. As tabelas que servem como base para a realização do presente trabalho foram obtidas a partir do livro Custos de Construção e Exploração - Gestão de Sistemas de Saneamento Básico Volume nº 9 elaborado por (Lencastre, Carvalho, Gonçalves, & Piedade, 1995). Estas medições-tipo não foram alteradas, pois assume-se que ao longo do tempo que as medições e quantidades de trabalho não se alteram para determinado aglomerado populacional.

Ponto nº 3: É neste passo que se verificam as diferenças existentes entre as duas metodologias e que faz com que nos dois passos seguintes exista uma discrepância entre os resultados obtidos pelos dois métodos. No que diz respeito à primeira metodologia, os custos unitários dos materiais e equipamentos são obtidos de acordo com os preços praticados no mercado atual (2014). Para tal, foram considerados os preços referenciados em catálogos de empresas de construção e referenciados no *software* gerador de preços CYPE. No Anexo I sintetizam-se todos os custos unitários utilizados para realizar a modelação de acordo com este método, assim como a fonte de onde foram retirados esses valores. No que diz respeito à metodologia seguinte, realiza-se a modelação com base no regime de revisão de preços. Nesta tipologia, os custos unitários utilizados foram obtidos através da aplicação de índices de atualização de acordo com a legislação em vigor (Decreto-Lei nº 6/2004).

Ponto nº 4: No quarto passo realiza-se a aplicação dos custos unitários às quantidades de trabalho referidas no segundo ponto. Deste modo, surgem os custos globais representativos do investimento a ter na construção de cada das fases do sistema de abastecimento, tal como os custos de exploração. Os valores dos custos globais obtidos pelas duas metodologias são diversos, visto que os custos unitários aplicados no ponto nº 3 são igualmente diferentes.

Ponto nº 5: Por último, como já são conhecidos os custos totais de investimento e exploração associados a um determinado valor de aglomerado populacional, que por sua vez estará associado a um determinado caudal ou capacidade, já é possível realizar-se as regressões lineares ou múltiplas para obtenção das expressões matemáticas representativas dos custos, para ambas as metodologias. As funções custo obtidas através das duas metodologias serão diferentes, visto que os valores onde se baseiam as mesmas são diversos.

De forma a contornar as dificuldades existentes, desde a variabilidade do tipo de solo nos locais de construção, até à oscilação da qualidade da água, passando pela heterogeneidade existente no mercado e nas estratégias das empresas gestoras e construtoras do serviço de abastecimento de água, na definição de um sistema de abastecimento de água para proceder à modelação e quantificação de custos foram admitidas várias hipóteses simplificativas que vão sendo apresentadas ao longo do capítulo dos casos de estudo. Deste modo, é de elevada importância referir e ter sempre presente que os custos determinados pelas duas metodologias devem ser entendidos apenas como valores indicativos, pois apresentam-se como resultados obtidos com recurso a hipóteses simplificativas. Pretende-se que sejam uma estimativa rápida e geral do custo de investimento e de exploração de cada etapa, não como finalidade principal a orçamentação de uma obra de construção, mas incorporação dos efeitos económicos nas decisões sobre investimentos a realizar (Lencastre, Carvalho, Gonçalves, & Piedade, 1995).

Importa salientar, e de acordo com o que foi referido no subcapítulo 3.2.1. - Classificação de modelos, que as duas metodologias utilizadas para modelação dos custos do sistema de abastecimento de água se enquadram ambas na tipologia de modelos determinísticos, visto que, apenas são utilizadas variáveis precisas e exatas, como por exemplo os custos unitários dos materiais.

4.2. Enquadramento legislativo do regime de revisão de preços

Tradicionalmente um método usado por grande parte dos utilizadores para prever a evolução dos encargos seria recorrer a processos expeditos, como por exemplo a utilização de taxas de variação de custos generalizadas. Este tipo de procedimentos nem sempre corresponde a valores representativos das condições do mercado, o que levava a uma divergência dos custos globais finais comparativamente com os custos reais. Concluiu-se portanto que esta tipologia não se apresenta como a mais viável para proceder à obtenção dos custos associados aos sistemas de abastecimento.

De modo a resolver esse problema, recorre-se às fórmulas relativas ao regime revisão preços, tendo como base os índices de preços de materiais e mão de obra, revelados pelo Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações publicados em Diário da República. Este método é utilizado há mais de trinta e cinco anos em Portugal e em vários países da comunidade europeia. Ao longo dos últimos tempos, a metodologia de revisão de preços das empreitadas de obras públicas tem garantido uma forma de analisar a variação dos fatores de produção utilizados numa determinada obra. Durante o período de tempo entre a apresentação de uma proposta de empreitada e a conclusão da mesma, existe normalmente uma variação dos preços dos principais componentes utilizados na construção da obra. Utilizando esta metodologia, é então possível realizar um ajustamento dos encargos que possam ter sido alterados no decorrer deste intervalo.

Deste modo, podem ser verificadas vantagens para a empresa que realiza a construção da obra, se por exemplo os encargos com os materiais se tivessem tornado mais dispendiosos, ou por outro lado, tirar vantagens para o Estado se for caso de uma obra pública ou para outra entidade particular, se os encargos com os materiais tivessem sofrido um decréscimo.

A 6 de Janeiro de 2004, foi publicado no Diário da República nº 4 Série-A, o Decreto-Lei nº 6/2004, que entrou em vigor a 1 de Fevereiro de 2004, e que vigora até os dias de hoje, substituindo o Decreto-Lei existente no despacho de 1975. Estes documentos e de acordo com o sumário dos mesmos, têm a finalidade de “estabelecerem o regime de revisão de preços das empreitadas de obras públicas e de obras particulares e de aquisição de bens e serviços”. De acordo com o documento a vigorar atualmente, a revisão de preços pode ser calculada através

de três métodos: Fórmula; Garantia de Custos; Fórmula e Garantia de Custos; Neste caso optou-se pelo primeiro método por se o mais utilizados na área da construção. Apresenta-se de seguida a fórmula polinomial que nos permite obter o coeficiente de atualização mensal:

$$C_t = a \frac{S_t}{S_o} + b \frac{M_t}{M_o} + b' \frac{M'_t}{M'_o} + \dots + c \frac{E_t}{E_o} + d \quad (5)$$

C_t = Coeficiente de atualização mensal a aplicar ao montante sujeito a revisão, obtido a partir de um somatório de parcelas;

S_t = Índice dos custos de mão de obra relativos ao mês que respeita a revisão;

S_o = Índice dos custos de mão de obra relativos ao mês anterior ao da data limite fixada para entrega das propostas;

M_t, M'_t, \dots = Índices dos custos dos materiais mais significativos, relativos ao mês que respeita a revisão;

M_o, M'_o, \dots = Índices dos custos dos materiais mais significativos, relativos ao mês anterior ao da data limite fixada para entrega das propostas;

E_t = Índice dos custos dos equipamentos de apoio, relativos ao mês que respeita a revisão;

E_o = Índice dos custos dos equipamentos de apoio, relativos ao mês anterior ao da data limite fixada para entrega das propostas;

a, b', \dots, c = Coeficientes correspondentes ao peso do custo da mão de obra, dos materiais e dos equipamentos de apoio na estrutura de custos da adjudicação;

d = Coeficiente que representa a parte não revisível da adjudicação, o seu valor é 0,10 quando a revisão de preços dos trabalhos seja apenas realizada por fórmula.

Através da equação (5), é possível então obter o coeficiente de atualização aplicar a um determinado custo unitário sujeito a revisão. Importa referir, e de acordo com o Artigo 9º, do Decreto-Lei nº6/2004, que apenas existirá atualização do preço, quando o valor do coeficiente mensal determinado através da fórmula anterior, seja igual ou superior a 1%. Se o valor for menor que 1% não existe necessidade de se realizar a revisão de custos.

Por meio de despachos mensais, o MOPTC revela os indicadores económicos a utilizar na fórmula para o cálculo de revisão de preços. De acordo com o Artigo 21ª do decreto em vigor, os indicadores mensais, são obtidos com base em elementos fornecidos através do Instituto Nacional de Estatística e/ou pela Comissão de Índices e Fórmulas de Empreitadas.

De um modo geral, esta metodologia permite determinar o coeficiente de atualização a aplicar aos custos unitários desatualizados, através da divisão dos índices dos materiais, mão de obra e equipamentos de apoio, correspondentes à situação de mercado no momento de apresentação da proposta de construção, pelos mesmos índices mas correspondentes à situação de mercado relativa ao mês da revisão.

5.1. Consumos

O consumo de água é expresso em termos do consumo diário médio anual por habitante, ou seja, pela capitação. Esta fornece um valor médio do consumo. Este valor é de difícil avaliação, pois depende de vários fatores, como clima, nível de vida, hábitos da população, entre outros. O Decreto Regulamentar nº23/95, refere no Capítulo II-artigo 13º que:

“As capitações na distribuição exclusivamente domiciliária não devem, qualquer que seja o horizonte do projeto ser inferiores aos seguintes valores:

- a) 80 l/habitante/dia até 1000 habitantes;
- b) 100 l/habitante/dia de 1000 até 10000 habitantes;
- c) 125 l/habitante/dia de 10000 até 20000 habitantes;
- d) 150 l/habitante/dia de 20000 até 50000 habitantes;
- e) 175 l/habitante/dia acima de 50000 habitantes.”

As capitações devem ser estimadas contabilizando os consumos domésticos, comerciais, industriais, públicos e ainda a uma parcela referente as perdas e fugas de água, de acordo com os artigos do Decreto Regulamentar nº23/95, que aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais. Deste forma, apresentam-se na tabela 2 os valores usados para quantificação das capitações:

Tabela 2 – Captações

População	Consumos Domiciliários (L/hab.dia)	Consumos Comerciais, Industriais e públicos (L/hab.dia)	Perdas (L/hab.dia)	Total (L/hab.dia)
<1000	80	10	10	100
1000 a 10000	100	20	15	135
10000 a 20000	125	30	20	175
20000 a 50000	150	40	25	215
>50000	175	50	25	250

Seguidamente, obteve-se o caudal médio diário anual (C_{mda}). Para realizar um estudo sobre o sistema de abastecimento, é necessário ter conhecimento dos caudais máximos ou de ponta. O fator de ponta mensal (f_m) é aproximadamente igual a 1,3, e o fator de ponta diário (f_d) é aproximadamente igual a 1,5. Deste modo, obteve-se o caudal médio diário do mês de maior consumo (C_{mdmmc}) e o caudal do dia de maior consumo do ano (C_{dmc}). É de elevada importância uma correta caracterização das quantidades de água para as quais se deve projetar o sistema. Na tabela 3 sintetiza-se os consumos relativos a determinado valor populacional.

Tabela 3 - Consumos

População (hab)	Capitação (l/hab.dia)	Consumo Médio Diário		Consumo Dia Maior Consumo (l/s)
		Anual (l/s)	Mês Maior Consumo (l/s)	
1000	100	1,16	1,50	1,74
2000	135	3,13	4,06	4,69
3000	135	4,69	6,09	7,03
4000	135	6,25	8,13	9,38
5000	135	7,81	10,16	11,72
6000	135	9,38	12,19	14,06
7000	135	10,94	14,22	16,41
8000	135	12,50	16,25	18,75
9000	135	14,06	18,28	21,09
10000	135	15,63	20,31	23,44
12000	175	24,31	31,60	36,46
14000	175	28,36	36,86	42,53
15000	175	30,38	39,50	45,57
16000	175	32,41	42,13	48,61
18000	175	36,46	47,40	54,69
20000	175	40,51	52,66	60,76
25000	215	62,21	80,87	93,32
30000	215	74,65	97,05	111,98
35000	215	87,09	113,22	130,64
40000	215	99,54	129,40	149,31
45000	215	111,98	145,57	167,97
50000	215	124,42	161,75	186,63
75000	250	217,01	282,12	325,52
100000	250	289,35	376,16	434,03

Em suma, para se tornar possível realizar uma gestão otimizada e sustentável do sistema das infra-estruturas inerentes ao sistema de abastecimento, necessita-se de uma correta

caracterização, modelação e previsão das solicitações da água (Silva J. F., Modelação e Previsão de Água usando uma ferramenta de Optimização para a Estimação de Parâmetros, 2008).

5.2. Funções Custo obtidas através da atualização de custos

5.2.1. Captações

Os encargos relativos à captação superficial são de difícil quantificação devido à elevada influência das condições do local de trabalho assim como o modo de execução dos trabalhos por parte da empresa construtora. Deste modo, admite-se a possibilidade a captação ocorrer diretamente na margem de um meio hídrico, dispensando estruturas hidráulicas. (Lencastre, Carvalho, Gonçalves, & Piedade, 1995). Sendo assim, de um modo geral é necessário dispor de um canal para desvio da água, um poço na margem do meio hídrico (construção civil), um grupo eletrobomba (equipamento eletromecânico) para elevação da água recolhida e por fim um posto de transformação para introduzir a energia ao equipamento eletromecânico. No que diz respeito aos custos da construção civil, teve-se em consideração parâmetros como a área da estrutura, o volume de escavação assim como o volume de betão para a estrutura enterrada. Os encargos estão em função do caudal a recolher, tendo em conta as quantidades de trabalho inerentes a cada valor de caudal e o seu custo unitário. Apresenta-se seguidamente na tabela 4, os encargos da construção civil assim como a correspondente expressão (6)

Tabela 4 - Custo Construção Civil das Captações Superficiais

Caudal (l/s)	Área (m ²)	Escavação (m ³)	Betão (m ³)	Custo (€)
5	25	155	50	27540
10	30	186	60	33048
20	35	217	70	38556
50	40	248	80	44064
100	50	310	100	55080
200	60	372	120	66096
300	80	496	160	88128

$$CI_{C.Cc} = 17607Q^{0,2593}, \quad \text{com } R^2 = 97\% \quad (6)$$

Prosseguindo, e no que concerne aos custos dos equipamentos eletromecânicos, isto é do grupo eletrobomba, os encargos estão em função do caudal a recolher e da altura de elevação da água (H). Como se sabe, num sistema de bombagem, as bombas hidráulicas recebem energia mecânica e transformam-na em energia cinética, que por sua vez é transformada em pressão, que por sua vez faz movimentar o fluido em questão.

A escolha do equipamento de bombagem que melhor se adequa às características do local de captação é fundamental para existir uma exploração sustentada, no que diz respeito ao recursos e aos encargos energéticos. É importante referir que a escolha de uma bomba hidráulica é feita de acordo com o caudal e altura manométrica necessária (Sousa, 2001). Neste caso, foram determinadas três funções custo, tendo em conta as seguintes alturas de elevação (H): 25m, 50m e 75m; Os custos inerentes a este procedimento foram obtidos para os caudais de 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 300 l/s. Através do software de Engenharia e Construção - Gerador de preços de construção civil (CYPE), obteve-se o encargo relativo ao grupo de bombagem para as todas as combinações possíveis, a escolha recaiu sobre um grupo de bombagem formado por quatro bombas centrífugas de cinco etapas, de eixo horizontal, com unidade de regulação electrónica de potência nominal de 3kW, onde o preço obtido já acarreta os encargos relativos aos equipamentos auxiliares e mão de obra necessária (Anexo I). Na tabela 5, apresenta-se os encargos relativos aos equipamentos eletromecânicos e as respetivas funções (7,8,9 e 10)

Tabela 5 - Custo dos Equipamentos Eletromecânicos das Captações Superficiais

Caudal (l/s)	Custo (€)		
	Alturas de Elevação (m)		
	25	50	75
5	19500	19500	23000
10	21500	25000	39000
20	27500	40000	43000
50	50000	80000	90000
100	94000	150000	160000
200	175000	270000	300000
300	325000	520000	560000

$$CI_{C.Eq.(25)} = 4246,7Q^{0,7946}, \quad R^2 = 98\% \quad (7)$$

$$CI_{C.Eq.(50)} = 4516,61Q^{0,6888}, \quad R^2 = 98\% \quad (8)$$

$$CI_{C.Eq.(75)} = 5930Q^{0,7457}, \quad R^2 = 98\% \quad (9)$$

$$CI_{C.Eq.} = 68440,52 + 1441,24Q + 1435,71H, \quad R^2 = 93\% \quad (10)$$

Por último, quantifica-se os custos referentes aos postos de transformação. De notar que é exigido um posto de transformação para potências superiores a 75 kW. Os encargos com os equipamentos eletromecânicos estão ligados ao valor da potência. Os postos de transformação são instalações necessárias para se proceder à transformação da energia elétrica de média tensão para baixa tensão, alimentado desta forma a rede de distribuição. Iniciou-se então este procedimento, com o cálculo da potência efetiva do grupo eletrobomba. De acordo com o documento elaborado por Ferreira da Silva (2001), no capítulo “*Instalações de Bombagem em Sistemas de Abastecimento de Água*” o autor refere que a potência útil da bomba é quantificada através da seguinte fórmula:

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (11)$$

Em que:

Pot = Potência (W)

γ = Peso específico; [N/m^3]

Q = Caudal elevado; [L/s]

H = Altura de elevação; [m]

η = Rendimento do grupo eletrobomba; [%]

Assume-se um valor do rendimento de 65% e um valor do peso específico de $9810 N/m^3$. Na tabela 6 são apresenta os valores dos encargos que foram obtidos através da utilização da equação (11).

Tabela 6 - Custos dos Postos de Transformação

Caudal (l/s)	Potência Efectiva GEB (kW)			Custo (€)		
	Altura elevação			25	50	75
	25	50	75			
5	1,89	3,77	5,66	20650	20650	20650
10	3,77	7,55	11,32	20650	20650	20650
20	7,55	15,09	22,64	20650	20650	20650
25	9,43	18,87	28,3	20650	20650	20650
50	18,87	37,73	56,6	20650	20650	20650
100	37,73	75,46	113,19	20650	20650	21974
250	94,33	188,65	282,98	21974	24621	25945
400	150,92	301,85	452,77	24621	25945	25945

Após quantificação das três parcelas de encargos referentes à captação superficial (construção civil + equipamento de bombagem + posto de transformação) partiu-se para a obtenção do custo total de um possível investimento numa captação superficial. É necessário portanto ter em conta os consumos médios diários no mês de maior consumo, já calculados anteriormente em função de um valor populacional. A partir destes caudais e dos custos determinados anteriormente, foi possível gerar as seguintes funções custos (12,13,14 e 15). Na tabela 7 apresentam-se os custos, a partir do quais se obteve as funções.

$$C_{Total.C(5)} = 40511Q^{0,2745}, \quad R^2 = 100\% \quad (12)$$

$$C_{Total.C(50)} = 39166Q^{0,314}, \quad R^2 = 100\% \quad (13)$$

$$C_{Total.C(75)} = 40794Q^{0,3304}, \quad R^2 = 100\% \quad (14)$$

$$C_{Total.C.} = 56907,137 + 578,538Q + 603,59H, \quad R^2 = 40\% \quad (15)$$

Tabela 7 - Custo Total das Captações Superficiais

População (hab)	Cmdmmc (l/s)	Custo Total (€)		
		E.Eletromecânicos + C.Civil + P.Trans.		
		25	50	75
1000	1,50	49964,09	50583,40	53049,83
2000	4,06	61172,79	63075,65	67145,27
3000	6,09	67007,70	69766,52	74759,22
4000	8,13	71693,51	75224,38	80996,39
5000	10,16	75678,79	79922,30	86381,62
6000	12,19	79183,62	84094,48	91175,71
7000	14,22	82334,41	87876,46	95529,98
8000	16,25	85211,35	91354,71	99541,24
9000	18,28	87868,88	94588,28	103275,69
10000	20,31	90345,89	97619,54	106780,90
12000	31,60	101853,62	111910,77	123358,12
14000	36,86	106335,48	117564,67	129937,18
15000	39,50	108426,74	120218,86	133029,32
16000	42,13	110432,61	122774,03	136008,19
18000	47,40	114221,17	127624,59	141668,44
20000	52,66	117755,57	132177,98	146988,03
25000	80,87	133694,63	153032,66	172742,78
30000	97,05	141297,27	163153,64	184633,98
35000	113,22	148152,13	172369,25	195478,62
40000	129,40	154426,90	180876,86	205503,40
45000	145,57	160235,78	188811,81	214864,05
50000	161,75	166984,47	200242,60	223672,93
75000	282,12	199608,59	246044,12	277917,00
100000	376,16	222119,26	275974,75	315882,82

Sabendo os custos globais de investimento na construção de uma captação de água superficial, é possível seguidamente obter os custos Per capita. Esta tipologia de custos é obtida através da divisão do custo total de investimento gerado para um valor populacional, pelo valor desse valor populacional. Na tabela 8 são apresentados os valores obtidos e seguidamente as expressões matemáticas representativas desses valores (16,17,18 e 19).

Tabela 8 - Custo Per Capita das captações superficiais

População (hab)	Cmdmmc (l/s)	Custo Total Per Capita (€/hab)		
		Altura de Elevação (m)		
		25	50	75
1000	1,50	49,96	50,58	53,05
2000	4,06	30,59	31,54	33,57
3000	6,09	22,34	23,26	24,92
4000	8,13	17,92	18,81	20,25
5000	10,16	15,14	15,98	17,28
6000	12,19	13,20	14,02	15,20
7000	14,22	11,76	12,55	13,65
8000	16,25	10,65	11,42	12,44
9000	18,28	9,76	10,51	11,48
10000	20,31	9,03	9,76	10,68
12000	31,60	8,49	9,33	10,28
14000	36,86	7,60	8,40	9,28
15000	39,50	7,23	8,01	8,87
16000	42,13	6,90	7,67	8,50
18000	47,40	6,35	7,09	7,87
20000	52,66	5,89	6,61	7,35
25000	80,87	5,35	6,12	6,91
30000	97,05	4,71	5,44	6,15
35000	113,22	4,23	4,92	5,59
40000	129,40	3,86	4,52	5,14
45000	145,57	3,56	4,20	4,77
50000	161,75	3,34	4,00	4,47
75000	282,12	2,66	3,28	3,71
100000	376,16	2,22	2,76	3,16

$$C_{Per\ Capita_{C.(25)}} = 4369,1P^{-0,67}, \quad R^2 = 100\% \quad (16)$$

$$C_{Per\ Capita_{C.(50)}} = 3285,7P^{-0,623}, \quad R^2 = 100\% \quad (17)$$

$$C_{Per\ Capita_{C.(75)}} = 3006,5P^{-0,603}, \quad R^2 = 100\% \quad (18)$$

$$C_{Per\ Capita_{C.}} = 14,322 + 0,035H - 0,059Q, \quad R^2 = 40\% \quad (19)$$

5.2.2. Estações de tratamento de água

É de elevada dificuldade a quantificação os custos inerentes a uma determinada estação de tratamento sem saber a especificidade e as características da natureza das águas que desejamos tratar. Desta forma, assume-se que os encargos reflitam os processos mais comuns neste tipo de procedimentos, como por exemplo as operações de cloração, coagulação, floculação e filtração rápida. De acordo com as medições-tipo o custo das estações de tratamento podem ser divididos em duas parcelas: construção civil e equipamentos (Lencastre, Carvalho, Gonçalves, & Piedade, 1995). Seguidamente apresenta-se a tabela 9, onde estão os encargos de investimento numa ETA de águas superficiais assim como as respetivas funções (20,21 e 22).

Tabela 9 - Custo de Tratamento de Águas Superficiais

Caudal (l/s)	Custo (€)		
	Construção Civil	Equipamentos	Total
13,89	81019,00	133951,41	214970,41
41,67	485033,73	365665,74	850699,47
172,22	1080253,30	945221,63	2025474,93
250,00	1269297,62	1350316,62	2619614,24
350,00	1420533,08	783183,64	2203716,72
500,00	1485348,28	1766214,14	3251562,42
800,00	2761667,55	2527792,71	5289460,26
1100,00	3043122,14	1620379,94	4663502,09
2200,00	3582168,54	2700633,24	6282801,78

$$CI_{ETA.AS.Cc} = 22182Q^{0,7033}, \quad R^2 = 93\% \quad (20)$$

$$CI_{ETA.AS.Eq.} = 38322Q^{0,5806}, \quad R^2 = 91\% \quad (21)$$

$$CI_{Total.ETA.AS} = 59461Q^{0,6414}, \quad R^2 = 94\% \quad (22)$$

Após obtenção dos custos totais de investimento partiu-se para a obtenção dos Custos per Capita referentes a esta parcela do sistema. A tabela 10 apresenta esses, que podem ser tratados de acordo com a equação (23).

Tabela 10 - Custo Per Capita de uma Estação de Tratamento de Águas Superficiais

População (hab)	Mês de maior consumo (l/s)	Custo Total (€)	Custo per Capita (€/hab)
1000	1,50	77274,39	77,27
2000	4,06	146120,88	73,06
3000	6,09	189520,94	63,17
4000	8,13	227925,50	56,98
5000	10,16	262997,12	52,60
6000	12,19	295622,75	49,27
7000	14,22	326345,42	46,62
8000	16,25	355527,79	44,44
9000	18,28	383427,08	42,60
10000	20,31	410233,99	41,02
12000	31,60	544636,84	45,39
14000	36,86	601238,37	42,95
15000	39,50	628441,85	41,90
16000	42,13	655002,14	40,94
18000	47,40	706402,05	39,24
20000	52,66	755789,41	37,79
25000	80,87	995176,95	39,81
30000	97,05	1118631,80	37,29
35000	113,22	1234885,90	35,28
40000	129,40	1345311,54	33,63
45000	145,57	1450882,01	32,24
50000	161,75	1552318,92	31,05
75000	282,12	2217882,72	29,57
100000	376,16	2667314,85	26,67

$$CI_{Per\ Capita_{ETA.AS.}} = 372,3P^{-0,228}, \quad R^2 = 97\% \quad (23)$$

Por sua vez e no que diz respeito ao tratamento das águas obtidas através de captações subterrâneas, assume-se para esta caso apenas um procedimento de desinfecção (cloragem). Na tabela 13 são apresentados os valores de custo total para investimento numa estação de

tratamento de águas subterrâneas (cloragem) assim como os Custos Per capita associados ao resultados obtidos. Após a tabela são apresentadas as funções custo geradas (24 e 25).

Tabela 11 – Custo Total e Per Capita de um Estação de Tratamento de Águas Subterrâneas

População (hab)	Mês de maior consumo (l/s)	Custo Total (€)	Custo per Capita (€/hab)
1000	1,50	8948,11	8,95
2000	4,06	14151,60	7,08
3000	6,09	17063,64	5,69
4000	8,13	19486,37	4,87
5000	10,16	21600,06	4,32
6000	12,19	23496,17	3,92
7000	14,22	25228,59	3,60
8000	16,25	26832,20	3,35
9000	18,28	28331,09	3,15
10000	20,31	29742,69	2,97
12000	31,60	36469,98	3,04
14000	36,86	39158,98	2,80
15000	39,50	40425,88	2,70
16000	42,13	41648,05	2,60
18000	47,40	43974,57	2,44
20000	52,66	46165,62	2,31
25000	80,87	56273,11	2,25
30000	97,05	61212,92	2,04
35000	113,22	65726,28	1,88
40000	129,40	69904,05	1,75
45000	145,57	73808,98	1,64
50000	161,75	77486,54	1,55
75000	282,12	100166,24	1,34
100000	376,16	114388,03	1,14

$$CI_{ETA.Asub.} = 7410,5Q^{0,4615}, \quad R^2 = 100\% \quad (24)$$

$$CI_{Per\ CapitaETA.Asub.} = 192,54P^{-0,445}, \quad R^2 = 97\% \quad (25)$$

Como seria de esperar, e tendo em conta o que foi referido no subcapítulo 3.1.2. os custos de investimento relativos ao tratamento de águas superficiais são superiores comparativamente com os custos de investimento de uma estação de tratamento de água subterrânea.

5.2.3. Reservatórios

5.2.3.1. Reservatórios semi-enterrados

No caso específico da construção de reservatórios, é necessário ter em conta o volume de água a armazenar. A capacidade deverá corresponder à componente da regularização e à componente destinada a eventuais emergências. De acordo com o trabalho elaborado por Ferreira da Silva (2001) no capítulo “Reservatórios de água para Abastecimento” o volume de armazenamento é obtido em função do valor populacional através da seguinte expressão:

$$V = K \cdot C_{mda} \quad (26)$$

Em que:

C_{mda} = Consumo médio diário anual [m^3/dia];

K = Coeficiente cujos valores depende da população a servir:

- a) $K=1,0$ para população > 100.000 habitantes;
- b) $K=1,25$ para população entre $10.000 < habitantes \leq 100.000$;
- c) $K=1,5$ para população entre $1.000 < habitantes \leq 10.000$;
- d) $K=2,0$ para população ≤ 1.000 ;

Relativamente aos reservatórios semi-enterrados, ou com duas células para reservatórios com capacidade de armazenamento superior. Em ambos os casos assume-se as células como cilíndricas. De acordo com os estudos desenvolvidos por Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995) aceita-se que o custo total deste tipo de reservatório se defina por:

$$CI_{total} = 80\% C_{células} + 20\% C_{Equipamentos} \quad (27)$$

O custo total das células é referente ao custo da construção civil, já o custo dos equipamentos concerne aos encargos relativos da construção civil da casa de manobra, assim como aos

encargos relativos aos equipamentos essenciais para um adequado funcionamento do reservatório. Dentro dos encargos relativos à construção civil pode-se referir que estes são subdivididos no custo do movimento de terras a realizar, no encargo com revestimento das superfícies do reservatório, no custo do betão armado para as paredes, cobertura, fundo e pilares, assim como no valor do pré-esforço. O pré-esforço apenas foi inserido no custo total quando a capacidade de armazenamento é superior ou igual a $700m^3$. O procedimento inicia-se com a obtenção dos volumes de água a armazenar relativamente a uma determinada população, depois determina-se o número de células a ter no reservatório para que seja possível armazenar o volume desejado. Sabendo o número de células a construir já é possível obter uma estimativa do custo de investimento. Na tabela 12 apresentam-se os valores obtidos e seguidamente as funções custos representativas desses valores (28,29 e 30).

Tabela 12 - Custos de Construção dos Reservatórios Semi - Enterrados

População	Capacidade (m ³)	Células	Capacidade Adoptada (m ³)	Custo Total (€)	Custo per Capita (€/hab)
500	100,00	1x100	100	12457,09	24,91
600	120,00	1x150	150	15240,35	25,40
700	140,00	1x150	150	15240,35	21,77
800	160,00	1x200	200	18955,78	23,69
900	180,00	1x200	200	18955,78	21,06
1000	270,00	1x300	300	24969,47	24,97
2000	405,00	1x400	400	32541,06	16,27
3000	607,50	1x600	600	40307,85	13,44
4000	810,00	1x800	800	55250,58	13,81
5000	1012,50	1x1000	900	63710,24	12,74
6000	1215,00	1x1200	1200	74215,91	12,37
7000	1417,50	1x1200+1x200	1400	93171,69	13,31
8000	1620,00	1x1500+1x100	1600	95269,67	11,91
9000	1822,50	2x800	1600	110501,16	12,28
10000	2625,00	1x2500+1x150	2650	141141,04	14,11
12000	2625,00	1x2500+1x150	2650	141141,04	11,76
14000	3062,50	1x3000+1x100	3100	155080,99	11,08
16000	3500,00	1x3000+1x500	3500	178574,04	11,16
18000	3937,50	1x4000	4000	179296,31	9,96
20000	5375,00	1x5000+1x400	5400	239336,69	11,97
25000	6718,75	1x6000+1x800	6800	294531,73	11,78
30000	8062,50	1x8000+1x100	8100	317720,70	10,59
35000	9406,25	1x9000+1x400	9400	357921,89	10,23
40000	10750,00	1x10000+1x800	10800	410142,72	10,25
45000	12093,75	1x10000+1x2000	12000	457086,46	10,16
50000	13437,50	1x10000+1x4000	14000	387433,20	7,75
75000	23437,50	1x20000+1x4000	24000	802702,09	10,70
100000	31250,00	1x20000+1x10000	30000	978297,92	9,78

$$CI_{R.S.E.} = 393,41Cap^{0,7372}, \quad R^2 = 100\% \quad (28)$$

$$CI_{R.S.E.} = 4606,1Q^{0,6795}, \quad R^2 = 99\% \quad (29)$$

$$CI_{Per\ Capita_{R.S.E.}} = 78,7P^{-0,197}, \quad R^2 = 87\% \quad (30)$$

5.2.3.2 Reservatórios elevados

Estima-se os custos dos reservatórios elevados de modo similar aos reservatórios semi-enterrados. Teve-se em conta o volume da cuba adoptar assim como a altura do fuste, neste caso considerou-se uma altura fixa de 20m. De acordo com os estudos desenvolvidos por Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995) aceita-se que o custo total deste tipo de reservatório se defina pela soma do custo da construção civil com o custo dos equipamentos, e que o custo dos equipamento corresponde a 15% do custo total da construção civil. Realizando-se o mesmo procedimento que se utiliza para o caso dos reservatórios semi-enterrados, foi então possível obter os valores representativos do investimento a ter para construção de um possível reservatório elevado. Na tabela 13 são apresentados os encargos obtidos assim como as suas funções custo (31,32 e 33).

Tabela 13 - Custos de Construção dos Reservatórios Elevados

População (hab)	Capacidade (m ³)	Células	Capacidade Adoptada (m ³)	Custo Total (€)	Custo per Capita (€/hab)
500	100,00	1x100	100,00	218545,9	437,1
600	120,00	1x150	150,00	218545,9	364,2
700	140,00	1x150	150,00	241026,4	344,3
800	160,00	1x200	200,00	241026,4	301,3
900	180,00	1x200	200,00	268779,4	298,6
1000	270,00	1x300	300,00	268779,4	268,8
2000	405,00	1x400	400,00	354958,9	177,5
3000	607,50	1x600	600,00	598050,3	199,4
4000	810,00	1x500+1x300	800,00	707121,4	176,8
5000	1012,50	1x1000	900,00	709917,8	142,0
6000	1215,00	2x500+1x200	1200,00	1039938,8	173,3
7000	1417,50	3x500	1500,00	1156739,2	165,2
8000	1620,00	3x500	1500,00	1156739,2	144,6
9000	1822,50	3x500 + 1x300	1800,00	1478280,9	164,3
10000	2625,00	5x500	3000,00	1927898,6	192,8

$$CI_{R.E.} = 33946,41Cap^{0,3928}, \quad R^2 = 99\% \quad (31)$$

$$CI_{R.E.} = 752136Q^{0,6161}, \quad R^2 = 96\% \quad (32)$$

$$CI_{Per\ Capita_{R.E.}} = 2179,9P^{-0,292}, \quad R^2 = 84\% \quad (33)$$

5.2.4. Estações elevatórias

Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995) assumem que os encargos para as EE podem ser divididos em três componentes: construção civil, equipamentos, instalações elétricas. Admite-se portanto a utilização da seguinte expressão:

$$CI_{E.E.} = C_{C.Cc} + C_{Eq.} + C_{I.E.} \quad (34)$$

Inicia-se a quantificação e modelação destes valores pelos encargos dos equipamentos eletromecânicos, que estão diretamente ligados aos grupos eletrobomba e aos equipamentos auxiliares da estações elevatórias. Foram determinadas três expressões em função das seguintes alturas de elevação (H): 25m, 50m e 75m, e dos caudais de 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 300 l/s. Os encargos relativos ao grupo eletrobomba são os mesmos que se utilizaram na componente de captação de águas superficiais, isto é, o grupo eletrobomba escolhido é idêntico ao utilizado para a elevação de águas na captação. Apresenta-se seguidamente as expressões para cada altura de elevação representativas do custo dos equipamentos eletromecânicos (35,36,37 e 38).

$$CI_{EE.Eq.(25)} = 4246,7Q^{0,7946}, \quad R^2 = 98\% \quad (35)$$

$$CI_{EE.Eq.(50)} = 4516,61Q^{0,6888}, \quad R^2 = 98\% \quad (36)$$

$$CI_{EE.Eq.(75)} = 5930Q^{0,7457}, \quad R^2 = 98\% \quad (37)$$

$$CI_{EE.Eq.} = 68440,52 + 1441,24Q + 1435,71H, \quad R^2 = 93\% \quad (38)$$

No que concerne aos encargos referentes à construção civil de uma EE, estes são obtidos tendo em conta a definição da área ocupada, ou seja, pelo custo da construção por m^2 . Sabe-se à partida que com o aumento da altura de elevação e do caudal a transportar, o valor de área necessária para o grupo de bombagem e respetiva tubagem será maior, e consequentemente os encargos serão mais dispendiosos. A área de construção, diz respeito ao espaço ocupado pelos grupos elevatórios, quadro elétrico, e zonas de passagem, assumindo tratar-se de um edifício básico. De acordo com o custo de construção apresentado no Anexo I, obtiveram-se os custos de construção de uma EE. Para as três alturas de elevação definidas, como seria de esperar, os encargos mais dispendiosos encontram-se para uma altura de elevação da água de 75m. Por último no que diz respeito aos custos referentes aos postos de transformação, os valores utilizados são semelhantes aos que se utilizaram para estimativa dos custos de investimento das captações de águas superficiais. Na tabela 14 verificam-se os custos de investimento totais e Per Capita gerados. São apresentadas ainda as funções custo representativas dos encargos totais (39,40,41 e 42) e Per Capita (42,43,44 e 45).

Tabela 14 - Custo de Construção das Estações Elevatórias

População (hab)	Cmdmmc (l/s)	Custo Total (€)			Custo Total per Capita (€/hab)		
		E.E + C.C. + P.T.			Altura de Elevação (m)		
		25	50	75	25	50	75
1000	1,50	36760,44	36654,03	41618,43	36,76	36,65	41,62
2000	4,06	42586,13	43797,28	50255,41	21,29	21,90	25,13
3000	6,09	45859,23	48219,71	55342,31	15,29	16,07	18,45
4000	8,13	48587,88	52096,45	59687,48	12,15	13,02	14,92
5000	10,16	50972,04	55612,12	63553,07	10,19	11,12	12,71
6000	12,19	53113,33	58864,50	67074,98	8,85	9,81	11,18
7000	14,22	55071,71	61913,09	70334,59	7,87	8,84	10,05
8000	16,25	56886,00	64797,42	73385,30	7,11	8,10	9,17
9000	18,28	58583,07	67545,44	76264,39	6,51	7,51	8,47
10000	20,31	60182,38	70177,78	78999,15	6,02	7,02	7,90
12000	31,60	69066,80	84523,27	93566,74	5,76	7,04	7,80
14000	36,86	72123,65	89994,56	99010,25	5,15	6,43	7,07
15000	39,50	73564,80	92616,15	101596,80	4,90	6,17	6,77
16000	42,13	74955,62	95171,06	104104,89	4,68	5,95	6,51
18000	47,40	77604,60	100102,93	108912,93	4,31	5,56	6,05
20000	52,66	81350,98	106077,19	114729,94	4,07	5,30	5,74
25000	80,87	92885,60	128803,07	137570,59	3,72	5,15	5,50
30000	97,05	99782,86	141677,48	149580,95	3,33	4,72	4,99
35000	113,22	104947,72	152573,50	159539,92	3,00	4,36	4,56
40000	129,40	110982,59	164132,46	170110,63	2,77	4,10	4,25
45000	145,57	115458,30	173954,22	178907,00	2,57	3,87	3,98
50000	161,75	122250,17	188583,55	188512,40	2,45	3,77	3,77
75000	282,12	152064,59	253479,65	245166,94	2,03	3,38	3,27
100000	376,16	174845,74	299380,39	287130,83	1,75	2,99	2,87

$$CI_{Total.EE.(25)} = 26537Q^{0,2917}, \quad R^2 = 99\% \quad (39)$$

$$CI_{Total.EE.(H=50)} = 22847Q^{0,401}, \quad R^2 = 98\% \quad (40)$$

$$CI_{Total.EE.(H=75)} = 28106Q^{0,3657}, \quad R^2 = 99\% \quad (41)$$

$$CI_{Total.EE.} = 24476,116 + 703,725H + 579,98Q, \quad R^2 = 34\% \quad (42)$$

$$CI_{Per\ Capita_{EE(25)}} = 2666,2P^{-0,65}, \quad R^2 = 99\% \quad (43)$$

$$CI_{Per\ Capita_{EE(50)}} = 972,09P^{-0,519}, \quad R^2 = 98\% \quad (44)$$

$$CI_{Per\ Capita_{EE(75)}} = 1577,1P^{-0,561}, \quad R^2 = 99\% \quad (45)$$

$$CI_{Per\ Capita} = 9,511 - 0,0403P + 0,0418H, \quad R^2 = 31\% \quad (46)$$

5.2.5. Adutoras

Para modelação e quantificação de custos desta fase do sistema de abastecimento de água, destacam-se os encargos relativos ao arranque e reposição de pavimentos, ao movimento de terras, acessórios da tubagem, e o custo da própria tubagem. As medições das quantidades de trabalho, da largura de vala, do recobrimento sobre a tubagem, correspondentes a cada valor de diâmetro, são de acordo mais uma vez com as quantidades de trabalho obtidas no estudo de Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995).

Primeiramente atualizaram-se os custos para o arranque e reposição de pavimentos. Os materiais utilizado como referência para a pavimentação foram: betume asfáltico; calçada de vidro; cubos de granito; calçada à portuguesa e macadame. Assumiu-se que a largura da área

pavimentada excede 0,4m a largura de vala (L) necessária, e que esta, é obtida de acordo com o diâmetro a utilizar de acordo com a tabela 15.

Tabela 15 - Largura da Vala (L)

Largura da Vala (m)	
Diâmetro Exterior	L
≤ 500	Dext + 0,5
>500	Dext + 0,7

Após este primeiro passo, seguiu-se para o custo do movimento de terras. Consideraram-se duas tipologias de solos, terra ou rocha, e valores de recarga sobre a tubagem de 1,00m, 1,50m e 2,00m. Atualizaram-se os custos referentes a: escavação em terra, transporte a vazadouro, aterro com produtos de escavação, escavação em rocha, areia, e aterro com produtos de empréstimo; obtidos através do software de Engenharia e Construção - Gerador de preços de construção civil (CYPE) e apresentados no Anexo I.

Deste modo obteve-se os encargos ($\text{€}/\text{m}^3$) referentes ao movimento de terras. Como se esperava, o maior custo é obtido na hipótese de construção de uma conduta implantada em rocha e com um recobrimento sobre a tubagem de 2,00m. Seguidamente, e tendo em conta uma possibilidade de materiais a empregar na construção da rede de adução, (Material metálico: Ferro Fundido – Série K9; Material plástico: Cloreto de polivinilo - PVC e Polietileno de alta densidade – PEAD) realiza-se uma pesquisa dos custos unitários referentes ao custo de tubagem, os valores foram obtidos através de catálogos da empresa Politejo, que trabalha na produção e comercialização de tubos e acessórios para as mais diversas tipologias.

Optou-se por estes três tipos de tubagens pois considera-se que os três materiais escolhidos representam a maioria das escolhas para as tubagens do sistema de abastecimento. Os materiais usados podem ser divididos em metálicos e não-metálicos. No primeiro grupo insere-se o ferro fundido, este tipo de material é utilizado desde 1664 (Palácio de Versalhes, França) e caracteriza-se por apresentar grande durabilidade, assim como boa resistência à pressão interna. No segundo grupo encontram-se o PVC e PEAD, estes dois tipos de materiais caracterizam-se por acentuada leveza, grande resistência à corrosão, boa capacidade de escoamento devido às suas paredes internas serem lisas, e grande flexibilidade. (Guerra, 2013)

Seguidamente, obteve-se os custos unitários para estes três tipos de tubagens para uma determinada pressão de serviço admissível. Por último, procede-se à quantificação dos custos referentes aos órgãos acessórios que são necessários implantar por metro de conduta, para que a adutora tenha um funcionamento adequado. De acordo as tabelas das quantidades de trabalho que servem de base para este procedimento, estes encargos já se encontram expressos em percentagem do custo da tubagem por metro linear, dependendo do diâmetro a implantar, como se pode verificar na tabela 16. De notar que o custo dos órgãos acessórios engloba os encargos referentes aos órgãos de manobra e segurança assim como o encargos com os acessórios propriamente ditos.

Tabela 16 - Percentagem do Custo dos Acessórios das Adutoras

Diâmetro Adutora (mm)	Custo dos Acessórios (%)
<200	20
200 a 500	25
> 500	30

De seguida, realiza-se o somatório das parcelas referidas anteriormente. Obtém-se uma estimativa de custo por metro linear das condutas adutoras, assumindo-se uma pressão de serviço de 1 *Mpa* e valores de recarga de 1,00m, 1,50m e 2,00m, admite-se também a possibilidade da recarga ser efetuada 100% em terra ou 75% em terra e 25% em rocha. A partir da análise dos encargos obtidos, conclui-se que até ao valor do diâmetro de 400mm não existe uma diferença significativa de encargos, apenas a partir desse mesmo valor, os encargos diferenciam-se dependendo do tipo de tubagem, sendo possível perceber que a tubagem em PVC é onde se encontram os encargos mais dispendiosos. Apresentam-se seguidamente, as expressões obtidas para o custo unitário das adutoras (47,48 e 49), referentes à hipótese onde o encargo é maior, isto é, funções referentes a um recobrimento de 2,00m, em 75% de terra e 25% rocha. Para obtenção das expressões seguintes admite-se utilizar o valor médio dos encargos associados ao arranque e reposição de pavimentos.

$$CI_{CA.PVC} = 0,0014D^2 - 0,1782D + 70,814, \quad R^2 = 100\% \quad (47)$$

$$CI_{CA.PEAD} = 0,0011D^2 - 0,0642D + 61,111, \quad R^2 = 100\% \quad (48)$$

$$CI_{CA.F.F.} = 0,0007D^2 + 0,0116D + 85,451, \quad R^2 = 99\% \quad (49)$$

De seguida, utilizaram-se os parâmetros tradicionais para o pré-dimensionamento de condutas, isto é, o valor do diâmetro foi obtido através da expressão indicada por Dacah (1975):

$$D = 0,9 \cdot Q^{0,45} \quad (50)$$

Em que:

D = Diâmetro da tubagem [mm];

Q = Caudal de dimensionamento [m³/s];

Os caudais de dimensionamento a utilizar advêm dos valores do caudal médio diário para o mês de maior consumo (C_{mdmmc}), valores já calculados no subcapítulo 5.2. Consideram-se esses valores como sendo o caudal mínimo razoável a transportar pelas condutas. Os valores dos diâmetros obtidos do procedimento anterior foram majorados para o valor do diâmetro comercial mais próximo. Tendo em contas as funções custo unitário das tubagens expostas anteriormente, obtiveram-se as funções custo referentes ao encargo por metro das condutas adutoras de acordo com o material pretendido e para servir um determinado valor populacional (51,52 e 53). Foi possível de seguida obter as expressões matemáticas representativas do Custo per Capita (54,55 e 56).

$$CI_{CA.PVC(Q)} = 7,789Q^{0,7416}, \quad R^2 = 97\% \quad (51)$$

$$CI_{CA.PEAD(Q)} = 9,0474Q^{0,6867}, \quad R^2 = 97\% \quad (52)$$

$$CI_{CA.FF(Q)} = 0,2754Q^{0,552}, \quad R^2 = 98\% \quad (53)$$

$$CI_{Per\ Capita_{CA.PVC}} = 0,0323P^{-0,147}, \quad R^2 = 56\% \quad (54)$$

$$CI_{Per\ Capita_{CA,PEAD}} = 0,0521P^{-0,198}, \quad R^2 = 72\% \quad (55)$$

$$CI_{Per\ Capita_{CA,FF}} = 0,2754P^{-0,358}, \quad R^2 = 88\% \quad (56)$$

5.2.6. Rede de distribuição

No investimento de uma rede de distribuição de um sistema de abastecimento, estão contabilizados tal como nas adutoras os encargos relativos a: implantação da rede, tubagem utilizada e os custos referentes aos acessórios. Comparativamente com o caso anterior existe uma diferença nos encargos dos acessórios, isto é, o valor dos custos relativos aos acessórios passa a ser de 60% do custo da tubagem montada, independentemente do diâmetro. Neste caso admite-se a hipótese de um recobrimento de tubagem de 1,00m, efetuado 100% em terra. Como se trata de uma rede de distribuição, define-se como maior valor de diâmetro o de 600mm. Para o material da tubagem a escolha recai sobre os três tipos de tubagem identificados para as adutoras. Nos dias de hoje, o PVC é o material mais utilizado no sistema de distribuição, no que diz respeito a condutas de pequeno e médio diâmetro, tal como a tubagem metálica é preferencialmente utilizada em obras de grande dimensão (Sousa, 2001). De seguida, apresentam-se as expressões representativas do investimento a ter na construção das redes de distribuição. As funções (57,58 e 59) dizem respeito ao custo unitário referente a cada material, já as funções (60,61 e 62) referem-se ao encargos a ter por metro, para servir determinado valor populacional, por último as funções (63,64 e 65) diz respeito ao Custo Per Capita dos valores anteriores.

$$CI_{RD,PVC} = 36,682 - 0,2183D + 0,0006D^2, \quad R^2 = 100\% \quad (57)$$

$$CI_{RD,PEAD} = 36,682 - 0,0685D + 0,0012D^2, \quad R^2 = 100\% \quad (58)$$

$$CI_{RD,FF} = 44,588 + 0,2183D + 0,0006D^2, \quad R^2 = 100\% \quad (59)$$

$$CI_{RD,PVC(Q)} = 10,2Q^{0,5645}, \quad R^2 = 97\% \quad (60)$$

$$CI_{RD.PEAD(Q)} = 10,286Q^{0,5704}, \quad R^2 = 97\% \quad (61)$$

$$CI_{RD.FF(Q)} = 26,574Q^{0,3943}, \quad R^2 = 98\% \quad (62)$$

$$CI_{Per\ Capita_{RD.PVC}} = 0,118P^{-0,318}, \quad R^2 = 56\% \quad (63)$$

$$CI_{Per\ Capita_{RD.PEAD}} = 0,0521P^{-0,198}, \quad R^2 = 72\% \quad (64)$$

$$CI_{Per\ Capita_{RD.FF}} = 0,8159P^{-0,461}, \quad R^2 = 88\% \quad (65)$$

5.2.7. Custos de Exploração

5.2.7.1. Recursos humanos

O dimensionamento de recursos humanos depende do tipo da estrutura de organização de uma empresa. Este deve ser tão simples e objetivo quanto possível, e deve permitir um bom desempenho das actividades para que desta forma os recursos humanos não se sintam sujeitos a realizar um esforço acima das suas capacidades (Campeão, 1999). Desta modo, a gestão dos recursos humanos é fundamental para o sucesso de qualquer tipo de organização.

Na presente dissertação, os encargos relativos aos recursos humanos foram estimados tendo em conta a mão de obra necessária para exploração de todas as fases existentes no sistema de abastecimento de água. É importante referir que o número de pessoas necessárias para um correto funcionamento do sistema varia com alguns fatores, desde da sua dimensão até ao grau de automatismo dos equipamentos existentes, assim como o valor do ordenado a receber pelos trabalhadores pode igualmente variar de acordo com os anos de experiência do trabalhador em questão, assim como a formação do mesmo. Admite-se de acordo com os princípios de Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995) que os números referentes aos recursos humanos de um sistema de abastecimento são os apresentados na tabela 17 e que estes se assentam nos seguintes princípios:

Tabela 17 - Recursos Humanos de um SAA

População	Recursos Humanos						
	Téc. Químico	Coordenador	Operadores ETA	Operadores EE	Analistas	Eletromecânico	Total
25000	1	1	5	5	x	1	13
50000	1	1	5	5	x	1	13
100000	1	1	5	5	1	2	15
200000	1	1	5	5	2	2	16

“1. O serviço é geralmente organizado aglutinando a captação e o tratamento por um lado, e a adução, a elevação e o controlo de qualidade até à distribuição por outro;

2. Um estação de tratamento não dispensa o respetivo pessoal de exploração, mas as estações elevatórias podem ser automatizadas ou controladas por telegestão;

3. A manutenção dos equipamentos e das instalações elétricas deve ser planeada, considerando que a mesma equipa executará os trabalhos necessários nas várias instalações;

4. A formação de operadores das estações de tratamento e das estações elevatórias deve ser idêntica, no sentido de facilitar uma eventual rotação do pessoal;

5. O funcionamento de uma instalação 24 horas por dia exige cinco funcionários;”

Este procedimento teve como base inicial a obtenção dos valores dos vencimentos mensais, atualmente aplicados, de acordo com a mão de obra necessária ao sistema de abastecimento. Desta forma, através do site (Meusalario.org) foi possível obter uma estimativa do valor do ordenado mensal referente a cada trabalhador, assumindo-se que o mesmo tem pelo menos quinze anos de experiência de trabalho. Sendo assim, seguidamente foi possível obter o valor do ordenado a receber anualmente por cada trabalhador, assumindo que este recebe catorze meses por ano com a introdução dos dois subsídios.

Tendo em conta o número de trabalhadores associados a um determinado valor populacional (tabela 17), foi possível obter uma estimativa do encargo com os recursos humanos associado a esses valores populacionais. Na tabela 18, apresenta-se uma sintetização sobre os valores utilizados, assim como os custos anuais e per capita gerados de acordo com o procedimento realizado.

Tabela 18 - Custos relativos aos Recursos Humanos de um SAA

Vencimento			População	Custo Total/Ano (€)	Per Capita (€/hab)
(Trabalhadores com 15 anos de experiência)			25000	218 820,00 €	8,75 €
Profissão	Mensal	Anual			
Técnico Químico	1 400,00 €	19 600,00 €	50000	218 820,00 €	4,38 €
Coordenador	1 100,00 €	15 400,00 €			
Operador ETA	1 200,00 €	16 800,00 €	100000	238 420,00 €	2,38 €
Operador EE	1 200,00 €	16 800,00 €			
Analista	1 400,00 €	19 600,00 €	200000	258 020,00 €	1,29 €
Eletromecânico	1 130,00 €	15 820,00 €			

As expressões matemáticas (66,67 e 68) representam a variação do encargo consoante o valor populacional, caudal ou custo per capita:

$$CE_{R.H.} = 0,2386P + 211150, \quad R^2 = 97\% \quad (66)$$

$$CE_{R.H.} = 61,837Q + 212324, \quad R^2 = 98\% \quad (67)$$

$$CE_{Per\ Capita_{R.H.}} = 91496P^{-0,916}, \quad R^2 = 100\% \quad (68)$$

5.2.7.2. Energia elétrica

O consumo de energia elétrica associado ao sistema de abastecimento de água, diz respeito às parcelas como a operação de captação de água, tratamento e sistema elevatório. Existem diversas abordagens relativamente aos encargos despendidos com os custos de exploração, principalmente com a energia elétrica, no sentido da procura de uma solução otimizada (Silva, Haie, & Vieira, 2003). O encargo está inerente a variáveis como o volume de água captado, tratado e elevado, assim como ao custo da energia elétrica. De acordo com o trabalho realizado por Campeão (1999) denominado “*Metodologia de cálculo de Tarifas em Sistemas Públicos*” a energia útil necessária para elevar 1 m^3 de água até 100 m de altura é de 0,272 kWh. Se considerarmos um rendimento dos grupos eletrobomba existente nas parcelas de elevação e captação de 65%, tal como se assume anteriormente, teremos então uma energia útil de 0,45 kWh. A partir deste argumento pode-se obter a quantidade de energia necessária para os grupos de bombagem existentes nas captações de água e nas estações elevatórias, dependendo da altura e quantidade da água para que as mesmas forem dimensionadas. Já no que se refere às estações de tratamento, o custo da energia elétrica varia consoante o tipo de tratamento a realizar, assim como com a quantidade e qualidade da água que advém da captação. De acordo com o estudo de Lencastre et. al (1995), para um esquema de tratamento com pré e pós-cloragem, coagulação/floculação, decantação e filtração rápida, a totalidade de energia associada a estes processos é de 20 Wh/ m^3 . A última atualização do documento realizada pela ERSE, referente aos preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal Continental, admite um preço de energia de 0,1442 (€/kWh) para tarifa simples e dentro de uma hipótese de negócio formalizada pela EDP Comercial. Com base nos valores referidos anteriormente, e tendo em conta o encargo de energia total associado a determinado valor populacional, obteve-se o custo referente ao encargo com a energia elétrica por habitante, tendo em conta o volume de água tratada, elevada e captada. De notar, que se assume as hipóteses apresentadas na tabela 19:

Tabela 19 - Consumos de Energia Elétrica

Preço Energia (€/kWh) :	0,1442
Altura de Elevação:	50 m
Energia Necessária:	0,22 kWh

Deste modo, foi possível gerar as seguintes expressões matemáticas (69,70 e 71) representativas dos encargos anuais com a energia elétrica num sistema de abastecimento de águas, nas condições admitidas anteriormente, ou seja, para a captação, elevação e tratamento. As três funções apresentadas têm como variável independente o valor populacional, seja para o custo total (69) ou para o Per Capita (70), e o caudal (71).

$$CE_{E.E.} = 7,9164P + 29006, \quad R^2 = 99\% \quad (69)$$

$$CE_{E.E.} = 2093,3Q + 0,7964, \quad R^2 = 99\% \quad (70)$$

$$CE_{Per\ Capita_{E.E.}} = 0,7691P^{0,2033}, \quad R^2 = 90\% \quad (71)$$

5.2.7.3. Conservação

Um sistema de abastecimento de água é susceptível de perder qualidade com o passar do tempo, tal como acontece em todos os sistemas de engenharia, desta forma, por vezes é necessário proceder a esforços de reabilitação (Machado, 2008). Deste modo e de acordo com o trabalho desenvolvido por Campeão (1999) assumem-se os valores das percentagens apresentadas na tabela 20. O autor realizou ainda uma ponderação relativamente à representatividade de cada órgão na estrutura global do sistema, apresentando o valor de 2,6% do investimento realizado como o valor a utilizar para os custos de conservação e património anualmente.

Tabela 20 - Custos de Conservação do Património

Manutenção/Conservação	
Reservatórios	0,20%
Estações de Tratamento	3,00%
Estações Elevatórias	6,00%
Adutoras, Redes de Distribuição e Ramais	1,00%

5.2.7.4. Reagentes

O consumo de reagentes durante o tratamento da água nas ETA é de acordo com o volume e quantidade de água recolhida. Desta forma, o encargos que corresponde à parcela dos reagentes diz respeito aos custos variáveis, pois varia consoante o tipo de reagentes a utilizar. Procedeu-se à atualização dos custos dos reagentes tendo em conta a tabela formulada no trabalho desenvolvido por Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995) onde os autores indicam uma possibilidade de reagentes a utilizar assim como as correspondentes dosagens para tratamento de $1 m^3$ de água. Os reagentes referidos no documento são: cloro líquido; cal apagada; sulfato de alumínio; carvão ativado em pó; polieletrólito. Após atualização do preço dos reagentes, obteve-se o custo do tratamento por metro cúbico de água, sendo este valor de 0,071 (€/m³). Sendo assim, foi possível obter os encargos anuais relativos aos reagentes do tratamento de água, que se identificam nas seguintes equações (72,73 e 74)

$$CE_R = 8,4857P - 31092, \quad \text{com } R^2 = 99\% \quad (72)$$

$$CE_R = 2243,8P + 0,8537, \quad \text{com } R^2 = 99\% \quad (73)$$

$$CE_{Per\ Capita_R} = 0,8244P^{0,2033}, \quad \text{com } R^2 = 90\% \quad (74)$$

Por fim conclui-se com base nas expressões matemáticas anteriores que os encargos relativos à exploração anual de um sistema de abastecimento de acordo com as hipóteses admitidas podem ser estimados através das seguintes funções totais (75 e 76) ou Per Capita (77):

$$CE_{Total} = (2,6\%CI) + (16,641P + 151053), \quad R^2 = 99\% \quad (75)$$

$$CE_{Total} = (2,6\%CI) + (4399,7Q + 212055), \quad R^2 = 99\% \quad (76)$$

$$CE_{Total.Per\ Capita} = (2,6\%CI_{Per\ Capita}) + (42556P^{-0,68}), \quad R^2 = 72\% \quad (77)$$

5.3. Funções Custo obtidas através do regime de revisão de preços

Na presente dissertação, optou-se por realizar uma atualização dos encargos obtidos no trabalho desenvolvido por Lencastre Carvalho, Gonçalves & Piedade (1995) através do regime de revisão de preços. Deste modo, será possível realizar uma comparação entre os valores alcançados através do regime de revisão de preços com os valores dos encargos obtidos através da metodologia anterior (Capítulo VI).

A partir do despacho nº 1 592/2004, de 8 de Janeiro e do despacho nº 22 637/2004, de 12 de Outubro, ambos publicados em Diário da República, obteve-se os coeficientes correspondentes ao peso da mão de obra, materiais e equipamentos de apoio, para os diferentes tipos de obra. Os despachos em causa, definem vinte e três tipos de obras. Relativamente aos restantes índices necessários para obter o coeficiente de atualização a aplicar, estes foram obtidos de acordo com o “Mapa global de índices de custos de mão de obra, materiais e equipamentos de apoio (2014)” disponibilizado pela CIFE em Outubro de 2014. Na presente dissertação, e tendo em conta o procedimento realizado no trabalho onde se obtém os valores a atualizar, admite-se a utilização de três tipos de obras: F18 – Estruturas de Betão armado; F20 – Instalações Elétricas; F21- Redes de abastecimento de água. É importante referir que a cada tipo de obra fez-se corresponder um determinado tipo de custo. Para o caso do F18 equiparou-se ao encargos associados à construção civil existentes nas parcelas do sistema de abastecimento de água, já no caso do F20 englobou-se os custos com os equipamentos eletromecânicos, e por último, o F21 para todo tipo de canalizações existentes no sistema.

Ainda no que se refere aos coeficientes do peso dos materiais utilizados nesta metodologia, é de notar que foram seleccionados diversos tipos de materiais para cada tipo de obra, como se pode visualizar na Figura 8. O somatório dos diversos coeficientes (a , b , b' , ... , c e d) de cada material, dentro de cada tipologia de obra deve ser igual à unidade, para que deste modo esteja de acordo com o 1º Ponto do Artigo nº 6 do Decreto-Lei base para o modelo de revisão de custos.

Estrutura de custos		Tipos de obras, nos termos do n.º 1 do presente despacho								
		F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23
a	Mão-de-obra	0,20	0,39	0,18	0,50	0,33	0,50	0,28	0,24	0,38
bi — materiais	M03 — inertes	0,22	0,06	0,13	0,07	—	—	0,04	0,09	0,01
	M13 — chapa de aço macio	—	—	—	—	0,12	—	—	—	—
	M15 — chapa de aço galvanizada	0,02	0,01	0,01	—	—	—	—	—	—
	M17 — fio de cobre revestido	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—
	M18 — betumes a granel	0,15	0,06	0,20	—	—	—	0,01	—	—
	M19 — betumes em tambores	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—
	M20 — cimento em saco	0,02	0,02	—	0,09	—	—	0,01	0,04	0,02
	M22 — gasóleo	0,04	0,05	0,05	—	0,01	—	0,04	0,04	0,01
	M24 — madeiras de pinho	0,01	—	—	0,06	—	—	0,01	0,02	0,01
	M30 — tintas para estradas	0,02	0,01	0,02	—	—	—	—	—	—
	M32 — tubo de PVC	0,01	—	—	—	—	—	0,07	—	0,18
	M35 — manilhas de betão	0,02	—	—	—	—	—	—	—	—
	M41 — pavimentos aligeirados de vigotas pré-esforçadas e blocos cerâmicos.	—	—	—	0,08	—	—	—	—	—
	M42 — tubagem de aço e aparelhos para canalizações.	—	—	—	—	—	—	—	0,03	0,15
	M43 — aço para betão armado	—	—	—	0,08	—	—	0,01	0,04	0,02
	M45 — perfilados pesados e ligeiros	0,02	0,01	0,01	—	0,27	—	—	0,01	—
	M46 — produtos para instalações eléctricas	—	—	—	—	—	0,40	—	—	—
	M48 — produtos para ajardinamentos	0,01	0,08	—	—	—	—	—	—	—
	M49 — geotêxteis	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—
M50 — tubos e acessórios de ferro fundido e aço	—	—	—	—	—	—	0,25	—	—	
M51 — tintas para construção metálica	—	—	—	—	0,11	—	—	—	—	
c	Equipamentos de apoio	0,15	0,20	0,30	0,02	0,06	—	0,18	0,38	0,12
d	Constante	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Figura 8 - Coeficientes referentes aos tipos de obra (*Despacho n.º22 637/2004*)

No que se refere ao procedimento de cálculo, iniciou-se este processo com a organização de todos os índices e coeficientes referidos anteriormente para as três tipologias de obra através do *software Excel*. Foi assim possível proceder ao cálculo dos coeficientes de atualização (C_t), através da fórmula polinomial para as três situações. Na tabela 22 pode-se visualizar os valores obtidos para os coeficientes de atualização.

O estudo onde foram obtidos os custos unitários aos quais serão aplicados os coeficientes obtidos anteriormente foi realizado em 1995, altura em que ainda circulava o escudo português como moeda oficial de Portugal. Como entrou em vigor em 2004, um novo despacho para regulamentar o regime de revisão de custos, admite-se utilizar os índices dos custos de mão de obra, materiais e equipamentos de apoio relativos a Janeiro de 2004, visto ser esse o primeiro mês após introdução do novo despacho. Utilizaram-se como índices relativos ao mês da revisão os últimos a serem publicados pela CIFE, neste caso os de Março de 2014.

De forma a colmatar o período de tempo existente entre 1995 e 2004, visto que os coeficientes apenas traduzem a evolução de 2004 a 2014, admite-se a utilização de uma taxa de variação do custos de 30% em todos os custos unitários sujeitos a revisão. Este valor foi utilizado de acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatística (tabela 21), obtido pelo produto das taxas de variação entre 1995 e 2003.

Tabela 21 - Taxas de variação dos custos em Portugal entre 1995 e 2003 (*INE*)

Ano	% Variação
1995	4,12
1996	3,06
1997	2,16
1998	2,57
1999	2,31
2000	2,82
2001	4,38
2002	3,54
2003	3,19

Tabela 22 - Coeficientes de Atualização

Revisão de Preços												
Tipo de Obra	F18	F20	F21	Coeficiente de Atualização	F18	F20	F21	Atualização	€	F18	F20	F21
Jan/13	126,918%	143,780%	132,109%	Jan/13	1,269	1,438	1,321	Jan/13	10,00 €	12,692 €	14,378 €	13,211 €
Fev/13	126,588%	143,580%	132,188%	Fev/13	1,266	1,436	1,322	Fev/13	10,00 €	12,659 €	14,358 €	13,219 €
Mar/13	126,111%	143,540%	132,240%	Mar/13	1,261	1,435	1,322	Mar/13	10,00 €	12,611 €	14,354 €	13,224 €
Abr/13	127,715%	144,210%	132,333%	Abr/13	1,277	1,442	1,323	Abr/13	10,00 €	12,771 €	14,421 €	13,233 €
Mai/13	127,614%	142,250%	132,089%	Mai/13	1,276	1,423	1,321	Mai/13	10,00 €	12,761 €	14,225 €	13,209 €
Jun/13	127,344%	142,690%	132,097%	Jun/13	1,273	1,427	1,321	Jun/13	10,00 €	12,734 €	14,269 €	13,210 €
Jul/13	127,141%	141,680%	131,777%	Jul/13	1,271	1,417	1,318	Jul/13	10,00 €	12,714 €	14,168 €	13,178 €
Ago/13	127,427%	141,800%	131,887%	Ago/13	1,274	1,418	1,319	Ago/13	10,00 €	12,743 €	14,180 €	13,189 €
Set/13	127,579%	141,680%	131,902%	Set/13	1,276	1,417	1,319	Set/13	10,00 €	12,758 €	14,168 €	13,190 €
Out/13	127,769%	142,550%	132,097%	Out/13	1,278	1,426	1,321	Out/13	10,00 €	12,777 €	14,255 €	13,210 €
Nov/13	128,220%	141,630%	132,191%	Nov/13	1,282	1,416	1,322	Nov/13	10,00 €	12,822 €	14,163 €	13,219 €
Dez/13	127,919%	142,070%	132,205%	Dez/13	1,279	1,421	1,322	Dez/13	10,00 €	12,792 €	14,207 €	13,221 €
Jan/14	127,822%	141,390%	132,042%	Jan/14	1,278	1,414	1,320	Jan/14	10,00 €	12,782 €	14,139 €	13,204 €
Fev/14	127,712%	141,350%	131,901%	Fev/14	1,277	1,414	1,319	Fev/14	10,00 €	12,771 €	14,135 €	13,190 €
Mar/14	127,679%	141,110%	131,774%	Mar/14	1,277	1,411	1,318	Mar/14	10,00 €	12,768 €	14,111 €	13,177 €
Abr/14				Abr/14				Abr/14	10,00 €			
Mai/14				Mai/14				Mai/14	10,00 €			

Os custos unitários obtidos da atualização efetuada são apresentados igualmente no Anexo I. Estes foram os valores que foram aplicados às quantidades de trabalho, e consequentemente com base nos custos totais foi possível obter as funções custo.

É importante referir que nesta metodologia foram utilizados os mesmos materiais que foram referenciados para a metodologia anterior. De seguida, apresentam-se para cada fase do sistema de abastecimento de água, as funções relativas aos custos totais e Per Capita de investimento. De notar que foram também admitidas as hipóteses utilizadas anteriormente, pois os custos unitários foram aplicados às mesmas quantidades de trabalho da metodologia anterior. Desta forma, denota-se diferenças apenas nos valores associados às variáveis independentes de cada função, e consequentemente no custo total de investimento, isto porque, os custos unitários a aplicar às quantidades de trabalho (3º ponto) foram alcançados através de um processo distinto comparativamente com a primeira metodologia.

- Captação: em águas superficiais;

- Custo dos equipamentos:

$$CI_{C.Eq.(25)} = 15097Q^{0,448}, \quad R^2 = 98\% \quad (78)$$

$$CI_{C.Eq.(50)} = 15689Q^{0,5047}, \quad R^2 = 98\% \quad (79)$$

$$CI_{C.Eq.(75)} = 5930Q^{0,7457}, \quad R^2 = 98\% \quad (80)$$

$$CI_{C.Eq.} = 19625,1 + 1359,53H + 880Q, \quad R^2 = 93\% \quad (81)$$

- Custo da construção civil:

$$CI_{C.Cc} = 29655Q^{0,2593}, \text{ com } R^2 = 97\% \quad (82)$$

- Custo Total:

$$CI_{C.(25)} = 62317Q^{0,2585}, \quad R^2 = 100\% \quad (83)$$

$$CI_{C.(50)} = 284021Q^{0,163}, \quad R^2 = 100\% \quad (84)$$

$$CI_{C.(75)} = 291828Q^{0,1807}, \quad R^2 = 100\% \quad (85)$$

$$CI_{C.S.} = 65465,4 + 1078,56Q + 8065,51H, \quad R^2 = 40\% \quad (86)$$

- Custo Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita\ C.(25)} = 8101,3P^{-0,688}, \quad R^2 = 100\% \quad (87)$$

$$CI_{Per\ Capita\ C.(50)} = 78096P^{-0,804}, \quad R^2 = 100\% \quad (88)$$

$$CI_{Per\ Capita\ C.(75)} = 70077Q^{-0,783}, \quad R^2 = 100\% \quad (89)$$

- Tratamento: Águas Superficiais;

- Custo da construção civil:

$$CI_{ETA.AS.Cc} = 37360Q^{0,7033}, \quad R^2 = 93\% \quad (90)$$

- Custo dos equipamentos:

$$CI_{ETA.AS.Ceq.} = 71332Q^{0,5806}, \quad R^2 = 93\% \quad (91)$$

- Custo total:

$$CI_{Total.ETA.AS.} = 106821Q^{0,6384}, \quad R^2 = 93\% \quad (92)$$

- Custo Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita.ETA.AS.} = 684,92P^{-0,232}, \quad R^2 = 97\% \quad (93)$$

- Tratamento: Águas Subterrâneas;

- Custo total:

$$CI_{Total.ETA.ASub.} = 13794Q^{0,4615}, \quad R^2 = 100\% \quad (94)$$

- Custo Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita.ETA.ASub.} = 358,39P^{-0,445}, \quad R^2 = 97\% \quad (95)$$

- Reservatórios: Semi-Enterrados;

- Custo Total:

$$CI_{R.S.E.} = 665,99Cap^{0,7535}, \quad R^2 = 100\% \quad (96)$$

$$CI_{R.S.E.} = 21679Q^{0,6974}, \quad R^2 = 100\% \quad (97)$$

- Custo Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita_{R,SE}} = 116,1P^{-0,161}, \quad R^2 = 87\% \quad (98)$$

- Reservatórios: Elevados;

- Custo Total:

$$CI_{R.E.} = 42718Cap^{0,393}, \quad R^2 = 99\% \quad (99)$$

$$CI_{R.E.} = 227898Q^{0,6044}, \quad R^2 = 96\% \quad (100)$$

- Custo Per Capita

$$CI_{Per\ Capita_{R.E.}} = 3273,6P^{-0,309}, \quad R^2 = 84\% \quad (101)$$

- Estações Elevatórias:

- Custo Total:

$$CI_{Total.EE.(25)} = 38610Q^{0,1074}, \quad R^2 = 99\% \quad (102)$$

$$CI_{Total.EE.(50)} = 42711Q^{0,1004}, \quad R^2 = 98\% \quad (103)$$

$$CI_{Total.EE.(75)} = 50159Q^{0,30905}, \quad R^2 = 99\% \quad (104)$$

$$CI_{Total.EE.} = 46483,119 + 286,69H + 136,77Q, \quad R^2 = 34\% \quad (105)$$

- Custo Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita_{EE(25)}} = 18604P^{-0,872}, \quad R^2 = 99\% \quad (106)$$

$$CI_{Per\ Capita_{EE(50)}} = 22109P^{-0,88}, \quad R^2 = 98\% \quad (107)$$

$$CI_{Per\ Capita_{EE(75)}} = 27719P^{-0,892}, \quad R^2 = 99\% \quad (108)$$

$$CI_{Per\ Capita} = 12 - 0,052P - (3,07 * 10^{-7}).H, \quad R^2 = 31\% \quad (109)$$

- Condutas Adutoras:

- Custo por metro de acordo com o diâmetro desejado:

$$CI_{CA.PVC} = 0,0023D^2 - 0,3658D + 81,02, \quad R^2 = 100\% \quad (110)$$

$$CI_{CA.PEAD} = 0,0019D^2 - 0,1729D + 64,34, \quad R^2 = 100\% \quad (111)$$

$$CI_{CA.F.F.} = 0,0012D^2 + 0,0617D + 108,55, \quad R^2 = 99\% \quad (112)$$

- Custo por metro de acordo com o caudal a servir:

$$CI_{CA.PVC(Q)} = 24,456Q^{0,521}, \quad R^2 = 97\% \quad (113)$$

$$CI_{CA.PEAD(Q)} = 25,101Q^{0,5158}, \quad R^2 = 97\% \quad (114)$$

$$CI_{CA.F.F.(Q)} = 59,841Q^{0,3237}, \quad R^2 = 98\% \quad (115)$$

- Custo por metro Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita_{CA.PVC}} = 0,4163P^{-0,378}, \quad R^2 = 56\% \quad (116)$$

$$CI_{Per\ Capita_{CA.PEAD}} = 0,4414P^{-0,383}, \quad R^2 = 72\% \quad (117)$$

$$CI_{Per\ Capita_{CA.FF}} = 4,471P^{-0,613}, \quad R^2 = 88\% \quad (118)$$

- Rede de Distribuição:

- Custo por metro:

$$CI_{RD.PVC} = 40,547 - 0,1412D + 0,0021D^2, \quad R^2 = 100\% \quad (119)$$

$$CI_{RD.PEAD} = 35,126 - 0,0905D + 0,002D^2, \quad R^2 = 100\% \quad (120)$$

$$CI_{RD.F.F.} = 53,82 - 0,3502D + 0,0009D^2, \quad R^2 = 100\% \quad (121)$$

- Custo por metro de acordo com o caudal a servir:

$$CI_{RD.PVC(Q)} = 15,741Q^{0,6261}, \quad R^2 = 97\% \quad (122)$$

$$CI_{RD.PEAD(Q)} = 15,342Q^{0,6317}, \quad R^2 = 97\% \quad (123)$$

$$CI_{RD.FF(Q)} = 47,069Q^{0,4153}, \quad R^2 = 98\% \quad (124)$$

- Custo por metro Per Capita:

$$CI_{Per\ Capita_{RD.PVC}} = 0,1156P^{-0,251}, \quad R^2 = 56\% \quad (125)$$

$$CI_{Per\ Capita_{RD.PEAD}} = 0,1074P^{-0,244}, \quad R^2 = 72\% \quad (126)$$

$$CI_{Per\ Capita_{RD.FF}} = 1,796P^{-0,506}, \quad R^2 = 88\% \quad (127)$$

No que concerne às expressões representativas dos encargos de exploração de um sistema de abastecimento de água, admitiu-se a utilização do índice relativo ao custo da mão de obra para a tipologia F21 que é referente às redes de abastecimento e às águas residuais para atualização dos encargos relativos aos recursos humanos. No que diz respeito aos custos com a energia elétrica, optou-se por utilizar o coeficiente de atualização das instalações elétricas (F20). Já com os reagentes admitiu-se a utilização do coeficiente de atualização da tipologia F21. Quanto ao encargo com a conservação, tal com o no método anterior assume-se ser igual a 2,6% do investimento. Para colmatar o período de tempo entre 1995 e 2003, que não está representado pelos índices de atualização foi igualmente aplicada a taxa de variação calculada anteriormente (30%). De seguida apresentam-se as funções representativas dos encargos de exploração de acordo com o regime de revisão de preços.

- Custo de Exploração:

- Recursos Humanos:

$$CE_{R.H.} = 0,313P + 148319, \quad R^2 = 98\% \quad (128)$$

$$CE_{R.H.} = 81,042Q + 149885, \quad R^2 = 98\% \quad (129)$$

$$CE_{Per\ Capita_{R.H.}} = 36356P^{-0,859}, \quad R^2 = 100\% \quad (130)$$

- Energia Elétrica:

$$CE_{E.E.} = 10,219P - 37442, \quad R^2 = 99\% \quad (131)$$

$$CE_{E.E.} = 2702,1Q + 1,028, \quad R^2 = 99\% \quad (132)$$

$$CE_{Per\ Capita_{E.E.}} = 0,9928P^{0,2033}, \quad R^2 = 90\% \quad (133)$$

- Reagentes:

$$CE_R = 3,5055P - 12844, \quad \text{com } R^2 = 99\% \quad (134)$$

$$CE_R = 926,92Q + 0,3527, \quad \text{com } R^2 = 99\% \quad (135)$$

$$CE_{R.Per\ Capita} = 0,3406P^{0,2033}, \quad \text{com } R^2 = 90\% \quad (136)$$

- Custo Total:

$$CE_{Total} = (2,6\%CI) + (14,032P + 95433), \quad R^2 = 99\% \quad (137)$$

$$CE_{Total} = (2,6\%CI) + (3709,8Q + 146885), \quad R^2 = 99\% \quad (138)$$

$$CE_{Total\ Per\ Capita} = (2,6\%CI_{Per\ Capita}) + (842,78P^{-0,38}), \quad R^2 = 72\% \quad (139)$$

VI. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A finalidade de um projeto de investimento é aplicar recursos, visando no futuro a obtenção de benefícios. A análise de resultados é um meio de apoio à selecção e preparação de novos projetos, tendo como finalidade a comparação e consequentemente a selecção de projetos de investimento. Tal como acontece em outros projetos, o investimento na construção de um sistema de abastecimento de água deve resultar de uma análise de todas as variáveis inerentes às mais diversas parcelas existentes no sistema de abastecimento (Nunes, 2010). Tradicionalmente, recorre-se à realização de uma análise de custos, para que seja escolhida de forma sustentada a opção mais viável entre todas as possibilidades. No ramo da Engenharia, de um modo geral, pode assumir-se que a análise de custos implica calcular e estimar os resultados económicos quando existem alternativas para levar a cabo um objetivo definido. Pelo trabalho realizado anteriormente, foi possível realizar a modelação e quantificação de custos de investimento e exploração através de duas metodologias distintas. De seguida, realiza-se uma confrontação dos encargos obtidos pelos dois procedimentos, com a finalidade de entender a discrepância que existe entre ambos.

De forma a ter valores que sirvam como base de comparação, considera-se os custos associados a um aglomerado populacional dos dois modelos. Deste modo, foram definidos os seguintes escalões populacionais: 1.000, 5.000, 10.000, 25.000, 50.000, 100.000 e 200.000. Os consumos inerentes a cada população continuam a ser iguais aos utilizados nos capítulos anteriores. Os custos Per Capita de investimento inerentes a cada fase do sistema de abastecimento, e o custos Per Capita de exploração anual do sistema, foram tidos como referência na realização desta análise.

Para ser possível a obtenção de uma estimativa global dos custos de investimento e de exploração, definiram-se algumas hipóteses de forma a abranger todas as componentes do sistema de abastecimento de água. Desta forma, foram então estabelecidas as seguintes hipóteses:

1. Captação de água superficial, com a água a ser elevada a 50 metros de altura;
2. Estação de tratamento para águas superficiais;
3. Estações elevatórias para que a água seja elevada a 50 metros de altura;
4. Reservatório de água do tipo semi-enterrado;
5. Adução da água para um comprimento de 5 Km em PVC;
6. Distribuição da água para um comprimento de 2 Km em PVC;

Com base nas hipóteses assumidas anteriormente e de acordo com as duas metodologias utilizadas foi possível obter as tabelas 23 e 24 do custo de investimento per capita para as fases do sistema de abastecimento e o custo per capita de exploração anual respetivamente.

Tabela 23 – Custos Per Capita obtidos pela 1ª Metodologia

Fases do Sistema	Custos Per Capita (€/hab) - População (Hab.)						
	1000	5000	10000	25000	50000	100000	200000
Captação	44,4	16,3	10,6	6	3,9	2,5	1,6
Tratamento	77,1	53,4	45,6	37	31,6	27	23
Elevação	27	11,7	8,2	5,1	3,5	2,5	1,7
Reserva	20,2	14,7	12,8	10,7	9,3	8,1	7,1
Adução	58,5	46,2	41,7	36,4	32,9	29,7	26,8
Distribuição	26,2	15,7	12,6	9,4	7,6	6,1	4,9
Custo de Investimento Total	253,4	158	131,5	104,6	88,8	75,9	65,2
Custo de Exploração Anual	52,2	33	27,1	21	17,3	14,3	11,8

Tabela 24 - Custos Per Capita obtidos pela 2ª Metodologia

Fases do Sistema	Custos Per Capita (€/hab) - População (Hab.)						
	1000	5000	10000	25000	50000	100000	200000
Captação	302,4	82,9	47,5	22,7	13	7,5	4,3
Tratamento	135,5	93,3	79,4	64,2	54,7	46,6	39,6
Elevação	49,7	12	6,5	2,9	1,6	0,9	0,5
Reserva	37,5	28,9	25,9	22,3	20	17,9	16
Adução	152,9	83,2	64	45,3	34,8	26,8	20,6
Distribuição	40,8	27,3	22,9	18,2	15,3	12,9	10,8
Custo de Investimento Total	718,8	327,6	246,3	175,7	139,4	112,4	91,8
Custo de Exploração Anual	79,7	41,4	31,6	22,3	17,2	13,3	10,4

Realizando-se uma análise aos valores obtidos do custo de investimento total de acordo com os dois métodos denota-se que existe uma diferença entre os custos globais, isto é, os custos obtidos pelo regime de revisão de preços (2ª Metodologia) apresentam-se mais elevados comparativamente com os valores obtidos pela atualização de acordo com os preços praticas no mercado (1ª Metodologia).

Essa diferença com o aumento da população vai tornando-se menor, tendendo para uma igualdade de valores. Para uma população de 1.000 habitantes existe uma diferença de custo global de 465,5 €/hab enquanto que para uma população de 200.000 habitantes a diferença já é de 26,6 €/hab, comprovando portanto o que foi referido anteriormente. No que diz respeito aos encargos associados às diversas fases do sistema de abastecimento de água obtidos pela atualização dos preços de acordo com o primeiro método, pode-se referir que para menores populações a fase onde existe maior investimento é a das estações de tratamento de água. Com o aumento da população a servir, o valor do investimento a ter nas condutas adutoras vai aumentando, tornando-se a fase onde existe o investimento mais dispendioso. Por outro lado, nos encargos relativos ao regime de revisão de preços, para uma valor de 1.000 habitantes a

fase onde está existe um maior investimento é a da captação de água, a partir dos 5.000 habitantes a construção de uma estação de tratamento de água passa a ser a maior parcela de investimento. As diferenças existentes dos resultados obtidos podem ser verificadas através da Figura 9. A linha verde diz respeito à variação de custos obtidos de acordo com a primeira metodologia, já a linha azul diz respeito à variação de custos obtidos de acordo com o regime de revisão de preços.

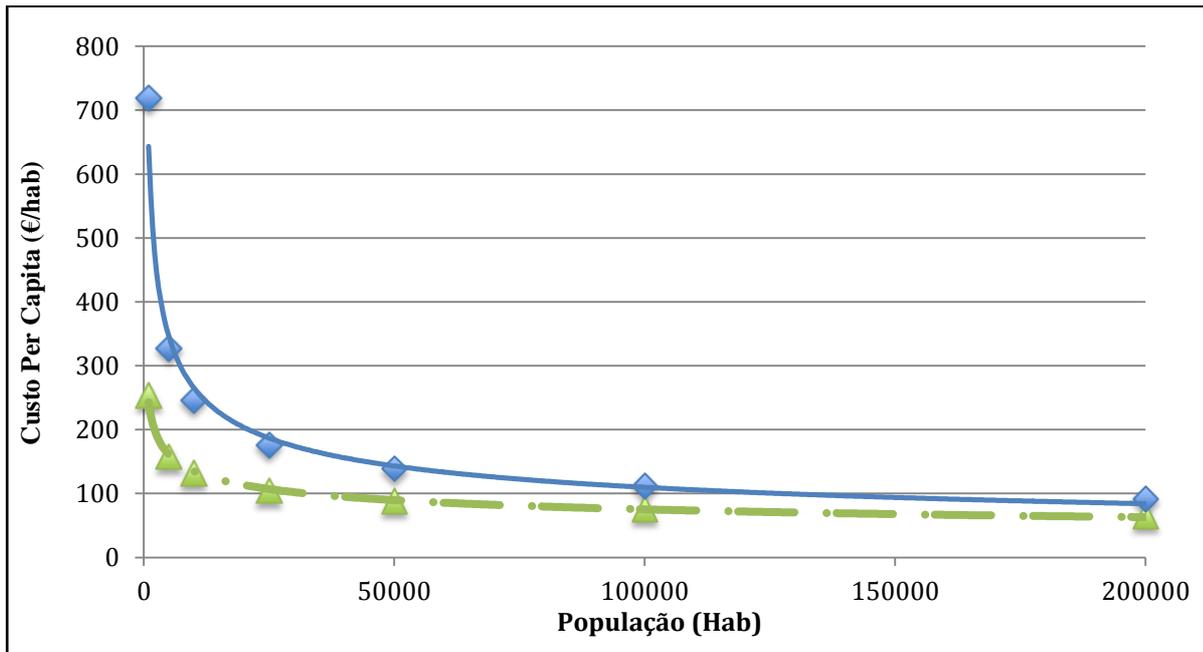


Figura 9 – Variação dos Custos de Investimentos per Capita

Nos custos de exploração anual para um possível sistema de abastecimento de água, existem mais uma vez diferenças entre os valores obtidos através dos dois métodos. Até ao valor de 25.000 habitantes, o custo de exploração anual de acordo com o regime de revisão de preços é mais dispendioso comparativamente com os custos de exploração obtidos no primeiro método. A diferença que existe não se apresenta tão significativa como no caso dos custos de investimento globais. Neste caso a diferença máxima associado a um aglomerado populacional, existe igualmente no menor valor de população a servir (1.000), representado uma diferença de 27,5 €/hab. Para aglomerados populacionais superiores ou iguais a 50.000 habitantes, os custos obtidos através do regime de revisão de preços são menores do que os custos obtidos pela atualização dos preços de mercado. Em ambas as situações, e igualmente como no acontece com os encargos de investimento, o custo de exploração tende a diminuir com o aumento da população. Pode-se portanto afirmar que os custos de exploração obtidos pelo regime de revisão de preços diminuem de uma forma mais rápida do que os encargos

obtidos pela atualização dos preços de mercado (1ª Metodologia). As diferenças existentes nos dois casos no que concerne aos custos de exploração podem ser visualizadas na Figura 10. Mais uma vez a verde está representada a linha dos custos de acordo com a primeira metodologia e a linha azul diz respeito aos custos de acordo com o segundo método para quantificação e modelação.

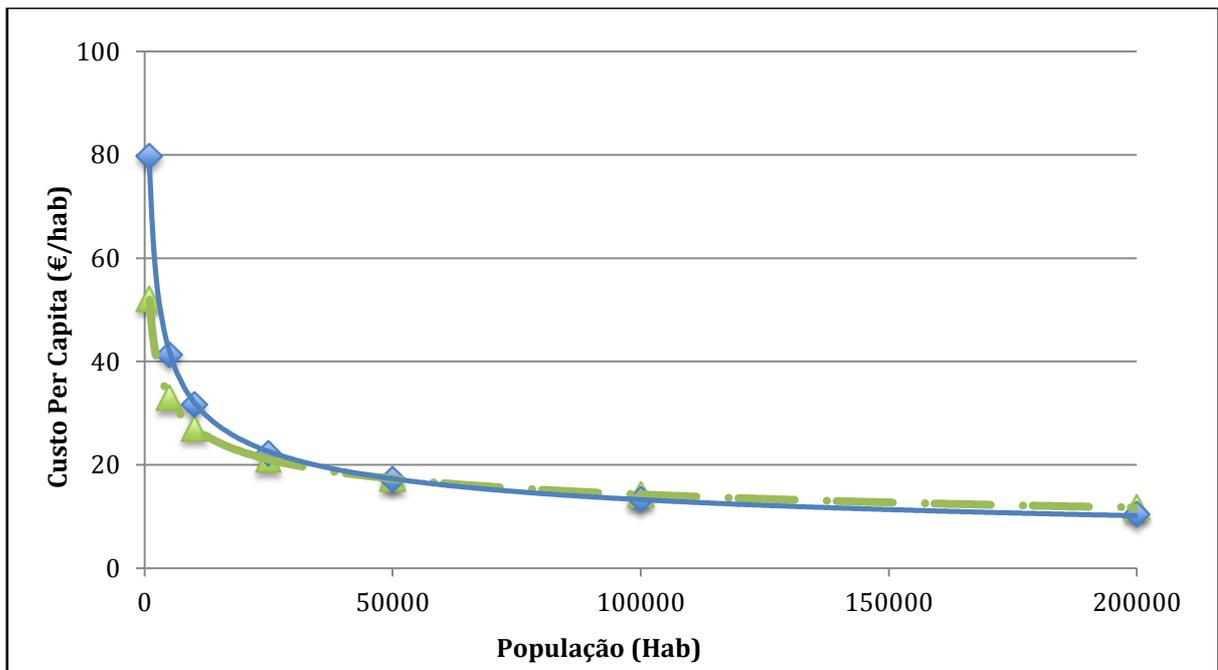


Figura 10 – Variação dos Custos de Exploração anuais

A redução do custo per capita do sistema de abastecimento de água com o aumento do aglomerado populacional a servir denomina-se de efeito escala. Esta tendência de redução de custo com o aumento do serviço de abastecimento de água não é infinita, como se pode observar nos gráficos anteriores, as respetivas curvas de encargos per capita tendem para assíntotas horizontais. A partir dos 150.000 habitantes a redução dos encargos deixa de ser significativa, existindo uma tendência para a estabilização dos valores tanto nos custos de investimento como nos custos de exploração. No que concerne aos custos de investimento a recta da assíntota horizontal encontra-se aproximadamente em $y = 79$ (€/hab). Já no que diz respeito aos custos de exploração a recta horizontal encontra-se aproximadamente em $y = 11$ (€/hab). Um análise que pode ser realizada, diz respeito à questão de existirem benefícios na construção de sistemas integrados.

No que concerne à diferença existente entre os encargos obtidos pelas duas metodologias, esta é mais significativa quando estamos a servir um número reduzido de habitantes, tendendo para uma igualdade de custos à medida que o número de habitantes a servir aumenta, como se pode visualizar através das duas figuras anteriores. De acordo com o regime de revisão de preços, e sabendo que este apresenta os encargos mais dispendiosos a nível de investimento comparativamente com os encargos atualizados pelos preços de mercado, pode-se referir que esta discrepância de custos se verifica devido a duas possibilidades:

1ª Possibilidade: Como referido anteriormente, o regime de revisão de preços baseia-se em índices de previsão do comportamento dos preços dos materiais, mão de obra e equipamentos de apoio inerentes aos mais variados tipos de construção. No caso específico da presente dissertação, associa-se os índices de revisão de uma certa tipologia de construção para o caso específico do custo da construção civil, dos equipamentos eletromecânicos e das tubagens, existentes em cada fase do sistema de abastecimento de água. A primeira possibilidade baseia-se então na hipótese desta correspondência de índices, não simular especificamente a evolução dos custos dos materiais e equipamentos utilizados no sistema de abastecimento.

2ª Possibilidade: Foi aplicada uma taxa de variação de 30% aos preços utilizados no método de revisão de custos, isto para colmatar o período de tempo entre 1995 e 2003, pois o método utilizado apenas retrata a variação de preços entre 2004 e 2014. A segunda possibilidade fundamenta-se portanto na hipótese do valor da taxa admitido, de acordo com INE, e que representa o valor da variação dos preços sentida em Portugal de um modo geral durante esse período de tempo, não representa especificamente a variação de preços sentida nos materiais da construção civil, equipamentos de apoio e custo de mão de obra.

Outro ponto de interesse de análise, diz respeito à importância que cada fase do sistema de abastecimento tem no custo de investimento total. Procedeu-se portanto à obtenção das percentagens representativas da importância que cada fase do sistema tem no encargo global. Realizou-se esta operação para os valores obtidos através das duas metodologias. Os encargos são apresentados seguidamente nas tabelas 25 e 26.

Tabela 25 - Percentagem das fases do SAA no custo global de Investimento (1ª Metodologia)

% de cada Fase no Custo de Investimento Total do S.A.A. - Custos obtidos pelo M.A.							
Fases do Sistema	População (Hab.)						
	1000	5000	10000	25000	50000	100000	200000
Captção	17,50%	10,30%	8,00%	5,70%	4,40%	3,30%	2,50%
Tratamento	30,40%	33,80%	34,70%	35,40%	35,60%	35,50%	35,30%
Elevação	10,60%	7,40%	6,20%	4,80%	4,00%	3,30%	2,60%
Reserva	8,00%	9,30%	9,80%	10,20%	10,50%	10,70%	10,90%
Adução	23,10%	29,20%	31,70%	34,80%	37,10%	39,20%	41,20%
Distribuição	10,40%	10,00%	9,60%	9,00%	8,50%	8,00%	7,50%
Custo de Investimento Total	253,4	158	131,5	104,6	88,8	75,9	65,2

Tabela 26 - Percentagem das fases do SAA no custo global de investimento (2ª Metodologia)

Peso % de cada Fase no Custo de Investimento Total do S.A.A. - Custos obtidos pelo M.R.C.							
Fases do Sistema	População (Hab.)						
	1000	5000	10000	25000	50000	100000	200000
Captção	42,10%	25,30%	19,30%	12,90%	9,30%	6,60%	4,70%
Tratamento	18,90%	28,50%	32,20%	36,50%	39,20%	41,40%	43,20%
Elevação	6,90%	3,70%	2,70%	1,70%	1,10%	0,80%	0,50%
Reserva	5,20%	8,80%	10,50%	12,70%	14,30%	15,90%	17,40%
Adução	21,30%	25,40%	26,00%	25,80%	25,00%	23,90%	22,50%
Distribuição	5,70%	8,30%	9,30%	10,40%	11,00%	11,40%	11,80%
Custo de Investimento Total	718,8	327,6	246,3	175,7	139,4	112,4	91,8

De acordo com os resultados obtidos, confirma-se que a parcela da construção de uma estação de tratamento de água tem elevado peso no que diz respeito ao custo global do sistema de abastecimento. A construção de uma estações elevatória apresenta-se como o menor encargo do custo global, comparativamente com as outras parcelas do sistema de abastecimento de água. Como seria de esperar, a variação percentual dos encargos inerentes a cada fase do sistema varia de igual modo com a análise realizada para o custo de investimento per capita das tabelas 23 e 24. Importa mais uma vez referir que a análise efetuada deve ser entendida no contexto das hipóteses admitidas para a construção do sistema de abastecimento de água estabelecidas previamente, e que desta forma, os número obtidos devem ser entendidos de forma generalizada, para que não possa surgir desvirtuações da realidade.

Após obtenção das funções custos, tornou-se possível aplicar uma fator que possa fazer refletir os custos de acordo com a estratégia comercial do construtor e/ou instalador (ϵ). As empresas construtoras quando concorrem a concursos públicos de uma determinada obra, por motivos de estratégia e de forma a criar um custo mais apelativo introduzem no valor do investimento uma fator que minora o custo total da construção. Foi realizado um estudo, igualmente na ferramenta informática *Excel*, com o objetivo de perceber de que forma varia o custo das parcelas do sistema de abastecimento de água com a introdução do fator (ϵ). Este valor encontra-se na maior parte dos casos próximo de 0,8. Foram criadas 200 amostras aleatoriamente representativas desse fator, isto é, assumindo-se como valor médio 0,8 e um desvio padrão de 0,1 foram gerados 200 hipóteses de fatores a introduzir no custo de investimento a realizar. Os custos de investimento base estão de acordo com as funções custo obtidas pelo regime de revisão de preços (2ª Metodologia) de acordo com os índices de atualização de Março de 2014. Como era necessário saber qual o valor do consumo, para obter um custo base, foi admitido um valor de 100 l/s. Este valor pode ser facilmente alterado, sendo automaticamente gerados novos resultados. Deste modo, foi assim possível obter uma estimativa dos custos médios, máximos e mínimos a apresentar por uma determinada empresa construtora com a introdução do fator (ϵ) e de acordo com um custo associado a um determinado caudal. Na tabela 29 apresentam-se os resultados obtidos. É importante referir, que este procedimento pode ser tomado como um modelo estocástico-determinístico, pois está baseado em parâmetros determinísticos, mas que contempla a introdução da vertente aleatória do fator (ϵ).

Tabela 27 - Custos obtidos com a introdução de (€).

Fase do SAA	Condutas Adutoras (€/m)			Rede de Distribuição (€/m)			Captação (€)	E.E. (€)	ETA (€)	Reservatório Semi-Enterrado (€)
	FF	PEAD	PVC	FF	PEAD	PVC				
Custo Base	237,73	242,19	292,55	291,38	254,82	254,94	601131,10	62800,00	1984948,93	528916,60
ε - Média	188,29	191,82	231,71	230,78	201,83	201,93	476121,95	49740,33	1572165,81	418924,93
ε - Máximo	236,53	240,97	291,08	289,91	253,54	253,66	598108,07	62484,19	1974966,83	526256,74
ε - Mínimo	133,71	136,22	164,54	163,88	143,32	143,39	338096,88	35320,89	1116403,81	297480,96

VII. CONCLUSÕES E INDICAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. Conclusões

Este trabalho pretendeu contribuir para o aprofundamento do conhecimento sobre a modelação e quantificação de custos e benefícios do sistema de abastecimento de água. Foram realizados e comparados dois procedimentos para atualização e modelação dos custos referentes às diversas fases do sistema de abastecimento.

Através da análise dos resultados obtidos pelas duas metodologias, concluiu-se que existe uma divergência entre os valores obtidos, e que esta é mais significativa quanto menor for o aglomerado populacional a servir pelo sistema de abastecimento de água. Mostrou-se igualmente que os encargos globais dos dois métodos tendem para uma igualdade com o aumento da população a servir. Contudo, a discrepância existente entre os resultados obtidos pelos dois métodos pode ser fundamentada através de duas possibilidades já descritas anteriormente.

Desta forma, e de acordo com o trabalho desenvolvido é aceitável referir duas conclusões:

1. A quantificação e modelação de custos de acordo com a primeira metodologia, tem em si inerente uma maior aproximação com a realidade atual, desta forma, as estimativas obtidas através deste modelo assumem-se como sendo mais fidedignas comparativamente com a segunda metodologia.
2. O regime de revisão de preços, evidencia competências para gerar uma estimativa simplificada e geral dos custos de investimento e exploração das diversas fases do sistema de abastecimento de água. Sendo assim, é possível afirmar que esta metodologia demonstra potencialidades como base para futuras atualizações das funções custo.

Por fim, é concebível referir que os três objetivos definidos inicialmente foram atingidos. Através da realização do presente trabalho foi possível conhecer e compreender a importância da modelação e atualização das funções de custo representativas de um sistema de abastecimento de água, assim como os benefícios inerentes à realização deste procedimento.

7.1. Aplicações Futuras

Um dos objetivos inicialmente propostos da presente dissertação era o desenvolvimento de procedimentos para que as funções custo se mantivessem facilmente atuais com o passar do tempo, tendo como ponto de partida o regime de revisão de preços. Tal como referido nas conclusões, e de acordo com os resultados obtidos, este método demonstra potencialidades como base para futuras atualizações das funções custo.

O modelo baseia-se na obtenção dos coeficientes de atualização através de uma fórmula polinomial que contempla os índices representativos dos preços dos materiais, equipamentos de apoio e mão de obra referentes a um tipo específico de obra. Tradicionalmente os índices são publicados em diário da república, sendo posteriormente publicados no INCI. Em cada despacho são apresentados índices relativos a três meses, ou seja índices representativos de um trimestre de um determinado ano. Foi criada uma folha na ferramenta informática *Microsoft Office Excel* para facilitar o procedimento a ter em futuras atualizações. Sendo assim, futuramente e à medida que são anunciados novos índices de preços, irá proceder-se à colocação destes na ferramenta informática, gerando-se automaticamente uma renovação dos coeficientes de atualização, este procedimento provocará uma consequente atualização dos custos unitários, visto que estes já estão referenciados nas quantidades de trabalho, desta forma o *software* irá gerar novos custos de investimento e exploração para cada fase do sistema de abastecimento. Como serão gerados novos custos totais, serão renovados automaticamente os gráficos representativos da variação do custos consoante uma determinada variável independente e por sua vez serão renovadas as funções custo de investimento e exploração.

Para facilitar a procura dos coeficiente de atualização dos custos unitários, foi introduzida uma função denominada *VLOOKUP* no *Excel*. Este comando faz com que seja encontrada uma correspondência exata para um determinado valor introduzido para pesquisa.

Deste modo, é pedido ao utilizador para introduzir um determinado mês e ano que deseja que os coeficientes representem. O menu de introdução é apresentado na tabela 28. Após introdução da data, a ferramenta informática irá proceder à busca de informações sobre os coeficientes a utilizar para esse mesmo período de tempo. Na base de dados da ferramenta informática foram colocados os índices compreendidos entre Janeiro de 2011 até Março de 2014.

Tabela 28 - Menu de Introdução da data para obter os coeficientes de atualização

Introduza data entre Janeiro 2011 até Março 2014 que deseja que as funções custos representem:
Mar/14
1,27679
1,41110
1,31774

A partir desta função é possível obter os coeficientes de atualização representativos de qualquer período de tempo. Por exemplo, se for necessário obter uma estimativa de custos para Dezembro de 2013, apenas é necessário colocar essa data na célula definida e os preços dos materiais, equipamentos e mão de obra serão renovadas, consequentemente os gráficos e as funções de custos que representam os investimentos e exploração do sistema de abastecimento serão renovadas, refletindo os custos práticos nesse período de tempo.

No decorrer da elaboração do presente trabalho, foram anunciados novos índices pelo INCI. Procedeu-se portanto à colocação dos mesmos na folha Excel já elaborada, gerando automaticamente novos coeficientes. As funções custos obtidas por este modelo apresentam-se baseando-se nos últimos índices apresentados em Diário da República.

Em suma, é concebível afirmar que o trabalho realizado durante a presente dissertação serve como via de desenvolvimento para futuras atualizações dos encargos do sistema de abastecimento, tornando a obtenção de estimativas de investimento e exploração do sistema de abastecimento, assim como as suas funções representativas um procedimento mais célere. Deste modo é possível a obtenção de uma constante aproximação aos encargos praticados na realidade, para que seja aceitável estudar a viabilidade dos projetos de investimento a realizar de uma forma mais rigorosa. É aceitável afirmar também que o presente trabalho permite obter rapidamente as funções custo e os encargos associado a um período de tempo passado.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Ahn, J., & Kang, D. (2014). *Optimal Planning of Water Supply System for long-term sustainability*.

Alegre, H., & Covas, D. (2006). *Gestão Patrimonial de Infra-Estruturas de abastecimento de água - Uma abordagem centrada na reabilitação*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (IRAR) & LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil & IST - Instituto Superior Técnico.

Baffoe, B., Harle, T., Glannie, E., Glenn, D., & Sjovold, F. (2006). *Framework for Operational Cost Benefit Analysis in Water Supply - TECHNEAU*.

Barbosa, F., & Afonso, P. (2011). *Análise de Custos II - Noções de Contabilidade Financeira*. Guimarães: DPS / Universidade do Minho.

Bardalez, K. L. (2007). *Optimização Energética da Operação de um Sistema Adutor de Água Tratada Utilizando Algoritmos Evolucionários Multiobjetivos*. Universidade Federal de Mato Grosso - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Barros, H. (1995). *Análise de Projetos de Investimento* (Vol. 3ª Edição). Lisboa, Portugal.

Calmeiro, J. A. (1998). *Organização de Empresas de Águas e Saneamento*.

Campeão, J. C. (1999). *Metodologia de Cálculo de Tarifas em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água e Saneamento*. Porto: Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Capitão, R. j. (2003). *Modelação Estocástica Numérica e Física da Agitação Marítima*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Carvalho, P., Marques, P., & Cruz, N. F. (2013). Utilities Policy: Disentangling the cost efficiency of jointly provided water and waste water services.

Coelho, S. T., Loureiro, D., & Alegre, H. (2006). *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) & LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Correia, M. S. (1980). *Captação, Abastecimento de Águas e Esgotos*. Coimbra.

Cruz, J. M. (2010). *Tarifários do Serviço de Abastecimento de água para Utilizadores Domésticos: Aplicação a um conjunto de Entidades Gestoras de Região Centro*. Universidade de Coimbra.

Dantas, M. d. (2001). Gestão Estratégica dos Custos de Produção do Sistema de Abastecimento de Água. *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.

Destandau, F., & Garcia, S. (27 de Março de 2014). Service quality, scales economies and ownerships: an econometric analysis of water supply costs. *Springer*.

Dragão, J. G. (2010). *Custos de Construção de Infra-Estruturas de Abastecimento de Água e Saneamento*. Universidade de Aveiro. Tese de Mestrado - Ciclos de Estudos Integrados em Planeamento Regional e Urbano.

ERSE. (Outubro de 2014). *Preços de Referência no Mercado Liberalizado de Energia Elétrica e Gás Natural em Portugal Continental*.

Ferreira, P. V. (2012/2013). *Textos de Apoio Análise de Projetos*. Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial.

Filho, P. J. (2008). *Introdução à modelagem e Simulação de Sistemas - Aplicações Arena*. Visual Books.

Fonte, C. M. (1994). *Ajustamento de Observações utilizando o método dos mínimos quadrados*. Universidade de Coimbra.

Friedler, E., & Pisanty, E. (23 de Agosto de 2006). *Effects of desing flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making*. Obtido de www.sciencedirect.com.

Gomes, H. P. (2005). *Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento - Análise Económica de Projetos*. Rio de Janeiro.

Gomes, R. d. (2011). *Modelação Matemática como Ferramenta de Gestão e Exploração de Sistemas de Distribuição de Água*. Universidade de Coimbra. Coimbra: Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil - Hidráulica, pela Faculdade De Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

Gonsiorkiewicz, G., & Lozeckyi, J. (2008). A Importância do Custo. *Revista Eletrónica Latu Sensu* .

Green, C. (2003). *Handbook of Water Econmics - Principles and Practice*.

Guerra, A. L. (2013). *Relatório de Avaliação Profissional*. Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setubal, Obtenção do Grau Mestre em Tecnologia Ambiental.

Lencastre, A., Carvalho, J., Gonçalves, J., & Piedade, M. (1995). *Gestão de Sistemas de Saneamento Básico* (Vol. 9: Custos de Construção e Exploração). Lisboa, Portugal: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Liu, Y., & Easter, K. W. (2005). *Cost Recovery and Water Pricing for Irrigation and Drainage*". (T. W. Bank, Ed.)

Machado, A. d. (2008). *Eficiência Económica numa Estação Elevatória*. (D. p. Porto, Ed.) Porto.

Martins, M. R. (2007). *Regulação Económica no Setor das Águas - Promoção da Concorrência e Sustentabilidade Tarifária*. (F. d. Coimbra, Ed.)

Martins, T. J. (2014). *Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano - Desenvolvimento e Aplicação de Ferramentas Informáticas para a sua Gestão Integrada*. Bragança: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental pela Escola Superior Agrária.

McGivney, T. W., & Kawamura, S. (2008). *Cost Estimating Manual for Water Treatment Facilities*.

Nunes, J. M. (2010). *Análise de Custos I* (Unidade Curricular do Mestrado Integrado em Gestão Industrial, Universidade do Minho ed.).

Ramos, J. M. (2010). *Análise e Dimensionamento de Reservatórios Semi-Enterrados Circulares de Betão-Armado Pré-Esforçado*. Porto.

Rita Martins, A. F. (2006). *Cost Structure of the Portuguese Water Industry: a Cubic Cost Function Application*. Coimbra: Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra.

Silva, J. F. (2001). *Estudos de Engenharia Hidráulica Aplicada aos Sistemas Urbanos*.

Silva, J. F. (2008). Modelação e Previsão de Água usando uma ferramenta de Optimização para a Estimação de Parâmetros. *Revista de Engenharia Civil N° 33; pp 53-64* .

Silva, J. F., Haie, N., & Vieira, J. M. (2003). Dimensionamento Optimizado de Sistemas Adutores Elevatórios de Água. *Revista Engenharia Civil N°16; pp 51-62* .

Skipworth, P., Engerhardt, M., Cashman, A., Savic, D., Saul, A., & Walters, G. (2002). *Whole Life Costing for water distribution network management*.

Sousa, E. R. (2001). *Saneamento Ambiental I*. Lisboa: Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura - Instituto Superior Técnico.

Vieira, J. M., Valente, J. T., Peixoto, F., & Morais, C. (2006). *Elaboração e Implementação de Planos de Contingência em Sistemas de Abastecimento de Água. 8º Congresso da Água*.

Vilas-Boas, P. R. (2008). *Modelação de uma Rede de Distribuição de Água*. Universidade do Porto. Porto: Relatório de Projeto para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil - Hidráulica.

Walski, D. C. (2003). *Advanced Water Distribution Modelling and Management*. USA.

Ward, F. A. (2012). Cost-Benefit and Water Resources Policy: A survey. *Water Policy Vol.14* .

Williams, H. G. (2006). *Managerial Statistics*. OPIM 303.

Legislação Portuguesa:

- Decreto-Lei nº 23/95, de 23 de Agosto de 1995 (Diário da República – Série I-B), aprova o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais;
 - Decreto-Lei nº236/98, de 1 de Agosto de 1998 (Diário da República, Série I – A – Nº176, estabelece as normas de qualidade da água potável;
 - Decreto-Lei nº6/2004, 6 de Janeiro de 2004 (Diário da República nº4, Série I-A 6 de Janeiro de 2004), estabelece o regime de revisão de preços;
 - Despacho nº 1 592/2004, de 8 de Janeiro de 2004 (Diário da República nº 19, II Série 23 de Janeiro de 2004) & Despacho nº 22 637/2004, de 12 Outubro de 2004 (Diário da República, nº260 - II Série 5 de Novembro de 2004), referem os tipos de obras e os mapas globais de índices com efeitos no regime de revisão de preços;
- (Guerra, 2013)

Sites Pesquisados:

- Agere – www.agere.pt
- Águas de Portugal – www.adp.pt
- Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água – www.apda.pt
- Consultores de Projeto “ Central Projetos “ – www.centralprojetos.pt
- CYPE – www.cype.pt
- Diário da República Electrónico – www.dre.pt
- ERSAR – www.ersar.pt
- ERSE – www.erse.pt
- Grupo Politejo – www.politejo.com
- Instituto da Construção e do Imobiliário – www.inci.pt
- Meu Salário – www.meusalario.org/Portugal
- MAMAOT – www.sg.mamaot.pt

- Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal – www.rcaap.pt
- Repositório da Universidade do Minho – www.repositorium.sdum.minho.pt
- Repositório da Universidade do Porto – www.repositorio-aberto.up.pt
- Science Direct – www.sciencedirect.com

ANEXO I

Material / Equipamento	Fonte	Uni.	Fase do SAA	1ª Met.	2ª Met.	1ªM - 2ªM
Areia	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	AD/RD	18,00 €	33,68 €	15,68 €
Aterro com produtos de escavação	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	AD/RD	9,51 €	7,58 €	1,93 €
Aterros com produtos de empréstimo	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	AD/RD	24,00 €	12,63 €	11,37 €
Betão armado em lajes de cobertura	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	224,45 €	463,17 €	238,72 €
Betão armado em paredes cilíndricas	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	317,30 €	757,91 €	440,61 €
Betão armado em paredes de cuba	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	448,90 €	757,91 €	309,01 €
Betão armado em pilares	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	476,39 €	507,27 €	30,88 €
Betão armado em sapatas	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	174,60 €	293,90 €	119,30 €
Betão armado na laje de fundo	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	159,61 €	336,85 €	177,24 €
Betão armado no fuste	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	RES	400,00 €	672,01 €	272,01 €
Betume asfáltico	Gerador de preços - CYPE	(€/m²)	AD/RD	9,20 €	18,53 €	9,33 €
Calçada de vidro	Fórumdacasa.com	(€/m²)	AD/RD	13,50 €	16,84 €	3,34 €
Calçada Portuguesa	Fórumdacasa.com	(€/m²)	AD/RD	11,37 €	9,26 €	2,11 €
Construção Civil (Indústrias e Armazéns)	C.M.Famalicão	(€/m²)	CAP/EE/ETA	250,00 €	588,10 €	338,10 €
Cubos de Granito	Fórumdacasa.com	(€/m²)	AD/RD	9,70 €	12,63 €	2,93 €
Escavação em rocha	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	AD/RD	28,00 €	37,90 €	9,90 €
Escavação em Terra	Gerador de preços - CYPE	(€/m³)	CA/RD/CAP	18,00 €	9,26 €	8,74 €
G.E.B. (H=25m;Q=5l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	19 500,00 €	35 281,17 €	15 781,17 €
G.E.B. (H=25m;Q=10l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	21 500,00 €	39 227,36 €	17 727,36 €
G.E.B. (H=25m;Q=20l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	27 500,00 €	56 821,41 €	29 321,41 €
G.E.B. (H=25m;Q=50l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	50 000,00 €	82 680,12 €	32 680,12 €
G.E.B. (H=25m;Q=100l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	94 000,00 €	105 195,7 €	11 195,73 €
G.E.B. (H=25m;Q=200l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	175 000,00 €	166 289,0 €	8 710,92 €

G.E.B. (H=25m;Q=300l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	325 000,00 €	217 911,5 €	107 088,4 €
G.E.B. (H=50m;Q=5l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	19 500,00 €	41 781,21 €	22 281,21 €
G.E.B. (H=50m;Q=10l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	25 000,00 €	46 887,06 €	21 887,06 €
G.E.B. (H=50m;Q=20l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	40 000,00 €	68 334,23 €	28 334,23 €
G.E.B. (H=50m;Q=50l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	80 000,00 €	97 303,35 €	17 303,35 €
G.E.B. (H=50m;Q=100l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	150 000,00 €	146 046,2€	3 953,76 €
G.E.B. (H=50m;Q=200l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	270 000,00 €	241 307,6 €	28 692,37 €
G.E.B. (H=50m;Q=300l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	520 000,00 €	315 955,7 €	204 044,2 €
G.E.B. (H=75m;Q=5l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	23 000,00 €	49 161,70 €	26 161,70 €
G.E.B. (H=75m;Q=10l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	39 000,00 €	59 699,15 €	20 699,15 €
G.E.B. (H=75m;Q=20l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	43 000,00 €	87 553,29 €	44 553,29 €
G.E.B. (H=75m;Q=50l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	90 000,00 €	119 724,1 €	29 724,04 €
G.E.B. (H=75m;Q=100l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	160 000,00 €	187 270,9 €	27 270,89 €
G.E.B. (H=75m;Q=200l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	300 000,00 €	292 189,3 €	7 810,73 €
G.E.B. (H=75m;Q=300l/s)	Gerador de preços - CYPE	(€)	CAP/EE	560 000,00 €	383 642,2 €	176 357,8 €
Macadame	Fórumdacasa.com	(€/m ²)	AD/RD	11,71 €	7,58 €	4,13 €
Movimento de terras	Gerador de preços - CYPE	(€/m ³)	RES	7,50 €	21,90 €	14,40 €
P.T. (H=25m;Q=5l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	38 438,12 €	17 788,12 €
P.T. (H=25m;Q=10l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	38 438,12 €	17 788,12 €
P.T. (H=25m;Q=20l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	38 438,12 €	17 788,12 €
P.T. (H=25m;Q=25l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	38 438,12 €	17 788,12 €
P.T. (H=25m;Q=50l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	38 438,12 €	17 788,12 €
P.T. (H=25m;Q=100l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	38 438,12 €	17 788,12 €
P.T. (H=25m;Q=250l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	21 974,00 €	40 902,63 €	18 928,63 €
P.T. (H=25m;Q=400l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	24 621,00 €	45 829,78 €	21 208,78 €
P.T. (H=25m;Q=5l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	41 180,29 €	20 530,29 €
P.T. (H=25m;Q=10l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	41 180,29 €	20 530,29 €
P.T. (H=25m;Q=20l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	41 180,29 €	20 530,29 €
P.T. (H=25m;Q=25l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	41 180,29 €	20 530,29 €

P.T. (H=25m;Q=50l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	41 180,29 €	20 530,29 €
P.T. (H=25m;Q=100l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	41 180,29 €	20 530,29 €
P.T. (H=25m;Q=250l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	24 621,00 €	45 829,78 €	21 208,78 €
P.T. (H=25m;Q=400l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	25 945,00 €	48 294,29 €	22 349,29 €
P.T. (H=25m;Q=5l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	46 141,50 €	25 491,50 €
P.T. (H=25m;Q=10l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	46 141,50 €	25 491,50 €
P.T. (H=25m;Q=20l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	46 141,50 €	25 491,50 €
P.T. (H=25m;Q=25l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	46 141,50 €	25 491,50 €
P.T. (H=25m;Q=50l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	20 650,00 €	46 141,50 €	25 491,50 €
P.T. (H=25m;Q=100l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	21 974,00 €	48 622,76 €	26 648,76 €
P.T. (H=25m;Q=250l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	25 945,00 €	50 369,28 €	24 424,28 €
P.T. (H=25m;Q=400l/s)	Lencastre et al. (1995)	(€)	CAP/EE	25 945,00 €	50 369,28 €	24 424,28 €
Pré-esforço	Lencastre et al. (1995)	(€/Kn.m)	RES	0,30 €	0,51 €	0,21 €
Revestimento exterior da cobertura	Gerador de preços - CYPE	(€/m ³)	RES	17,50 €	37,90 €	20,40 €
Revestimento exterior das superfícies	Gerador de preços - CYPE	(€/m ³)	RES	12,50 €	8,42 €	4,08 €
Revestimento interior	Gerador de preços - CYPE	(€/m ³)	RES	17,50 €	12,63 €	4,87 €
Transporte a Vazadouro	Gerador de preços - CYPE	(€/m ³)	AD/RD	8,70 €	5,05 €	3,65 €
Tubagem em F.F. (125mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	31,27 €	54,36 €	23,09 €
Tubagem em F.F. (250mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	55,72 €	96,86 €	41,14 €
Tubagem em F.F. (400mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	106,04 €	184,33 €	78,29 €
Tubagem em F.F. (800mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	276,63 €	480,86 €	204,23 €
Tubagem em PEAD (125mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	9,05 €	15,09 €	6,04 €
Tubagem em PEAD (250mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	37,08 €	59,81 €	22,73 €
Tubagem em PEAD (400mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	96,02 €	173,74 €	77,72 €
Tubagem em PEAD (800mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	444,09 €	841,47 €	397,38 €
Tubagem em PVC (125mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	8,68 €	15,91 €	7,23 €
Tubagem em PVC (250mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	34,41 €	65,71 €	31,30 €
Tubagem em PVC (400mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	99,95 €	167,43 €	67,48 €

Tubagem em PVC (800mm/1Mpa)	Politejo - Catálogos	(€/m)	AD/RD	484,09 €	779,61 €	295,52 €
-----------------------------	----------------------	-------	-------	----------	----------	----------

Informações sobre o G.E.B. seleccionado no software CYPE: “Formado por 4 bombas centrífugas electrónicas de 4 etapas, horizontais, com roletes, difusores e todas as peças em contacto com o meio de impulsão de aço inoxidável, ligação em aspiração de 2", ligação em impulsão de 2", fecho mecânico independente do sentido de rotação, unidade de regulação electrónica para a regulação e comutação de todas as bombas instaladas com variador de frequência integrado, com ecrã para indicação dos estados de trabalho e da pressão actual e botão monocomando para a introdução da pressão nominal e de todos os parâmetros, memória para historiais de trabalho e de erros e interface para integração em sistemas GTC, motores de rotor seco com uma potência nominal total de 4,4 kW, 3770 rpm. nominais, alimentação trifásica 400V/50Hz, com protecção térmica integrada e contra funcionamento a seco, protecção IP 55, isolamento classe F, vaso de expansão de membrana de 8 l, válvulas de corte e anti-retorno, manómetro, sensor de pressão, bancada, colectores de aço inoxidável.”