U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2020/2021

ESTUDO E ANÁLISE DAS PERDAS DE ÁGUA DE UM SUBSISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

CARLOS JORGE ROCHA SOARES

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

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

Orientador académico: Joaquim Manuel Veloso Poças Martins
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Pedro João da Silva Antunes
(Engenheiro Responsável pela Unidade de Projetos e Obras da Penafiel Verde, E.M.)

abril, 2021

© Carlos Jorge Rocha Soares, 2021

Resumo

As empresas responsáveis por sistemas de abastecimento de água devem por natureza estar atentas e preocupadas com as perdas do sistema, ou seja, à água que é tratada e encaminhada para os consumidores, mas que, por diferentes razões, não atinge esse ponto final de consumo ou não é contabilizada para esse efeito.

Desta forma, as empresas gestoras representam um papel determinante na gestão deste recurso devendo sempre atuar no sentido da redução das perdas.

A presente dissertação estuda o caso da Penafiel Verde, E.M. analisando as abordagens utilizadas pela empresa nomeadamente a um caso particular sobre uma das suas zonas de medição e controlo.

O objetivo desta dissertação inclui a aplicação de uma das principais ferramentas na análise e gestão de perdas de água em sistemas de distribuição – o balanço hídrico. Esta ferramenta é aplicada geralmente numa escala temporal anual pelo que foi necessário manipular e ajustar os dados disponíveis para uma escala temporal mais curta de forma a analisar a evolução e o impacto na rede depois de intervenções efetuadas pela equipa de redução de perdas que ocorrem no ano de 2020.

Dados os recursos limitados no acesso a informação, foram encontrados alguns obstáculos que obrigaram a uma análise menos criteriosa, mas ainda assim válida.

Os dados apurados confirmaram que as intervenções resultaram numa redução de 30% da água não faturada na ZMC. A redução das perdas deu-se principalmente sobre as perdas reais, não tendo sido registado um impacto significativo relativamente às perdas aparentes.

Paralelamente foram identificadas algumas falhas na abordagem da elaboração do balanço hídrico, às quais foram recomendadas alterações e sugestões de melhoria de forma a auxiliar decisões futuras.

PALAVRAS-CHAVE: perdas de água, perdas reais, perdas aparentes, balanço hídrico, água não faturada

Abstract

The companies responsible for water supply systems should by nature be aware and concerned about the losses of the system, meaning the water that is treated and routed to consumers, but which, for different reasons, does not reach this end point of consumption or is not accounted for for this purpose.

In this way, the management companies have a decisive role in the management of this resource and should always act towards the reduction of water losses.

This dissertation studies the case of Penafiel Verde, E.M. analyzing the approaches used by the company, namely a particular case about one of its district metered area.

The objective of this dissertation includes the application of one of the main tools in the analysis and management of water losses in distribution systems – the water balance. This tool is generally applied on an annual time scale so it was necessary to manipulate and adjust the available data to a shorter timescale in order to analyze the evolution and impact on the network after interventions made by the water loss reduction team that occurred in 2020.

Given the limited resources in accessing information, some obstacles were found that required a less judicious but still valid analysis.

The data confirmed that the interventions resulted in a 30% reduction in unbilled water in the DMA. The reduction in losses occurred mainly on real losses, and there was no significant impact reported on apparent losses.

At the same time, some flaws in the approach to the elaboration of the water balance were identified, to which changes and suggestions for improvement were recommended in order to define future guidelines.

KEYWORDS: water losses, real losses, apparent losses, water balance, unbilled water

Agradecimentos

Esta dissertação não estaria completa sem saudar e agradecer a todos os intervenientes que contribuíram para a concretização desta dissertação.

Agradeço especialmente ao Professor Doutor Joaquim Poças Martins pela sua prontidão e disponibilização em orientar-me durante a realização deste documento.

Agradeço a todos os colaborados da Penafiel Verde, E.M. que, de alguma forma, me ajudaram e esclareceram quando precisei. Agradecimentos especiais para a Engenheira e Presidente do Conselho de Administração Alexandra Almeida, por desde de logo permitir a oportunidade da realização na empresa, e ao Engenheiro Pedro Antunes por toda a assistência e acompanhamento que me proporcionou ao longo desta jornada.

Agradeço ainda à minha família, pais e irmão, e à minha namorada por todo o apoio incondicional.

Índice

Resumo iii
Abstract v
Agradecimentos vii
Índice ix
Lista de Figuras xi
Lista de Tabelas xiii
Abreviaturas xiv
1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Introdução 1
1.2. Organização da dissertação 2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1. Breve enquadramento 3
2.2. Balanço Hídrico 4
2.3. Perdas de água 8
2.3.1. Perdas em entidades gestoras 8
2.3.2. Perdas reais 11
2.3.3. Perdas aparentes 13
2.3.4. Abordagens no cálculo das perdas 15
2.3.5. Indicadores relativos às perdas 16
2.3.6. Nível Economico de Perdas 19
2.4. Fases de desenvolvimento de entidades gestoras 22
2.5. Monitorização e controlo de perdas 23
2.5.1. Requisitos mínimos 23
2.5.2. Medição do caudal 25

2.5.3. Setorização da rede 31
2.6. Estratégias de redução de perdas 32
3. ÂMBITO E OBJETIVOS 34
3.1. Âmbito 34
3.2. Objetivos específicos 35
4. CASO DE ESTUDO – PENAFIEL VERDE, E.M. 36
4.1. A empresa 36
4.2. A zona em estudo 37
4.2.1. Localização 37
4.2.2. Cadastro 40
4.2.3. Características 41
4.2.4. Reservatório 42
4.2.5. Os dados 42
4.3. A abordagem da empresa face às perdas 43
4.4. Metodologia 46
4.5. Análise de dados 50
4.5.1. Geral – Penafiel Verde, E.M. 50
4.5.2. Consumidores 56
4.5.3. Volumes faturados 58
4.5.4. Contadores 59
4.5.5. Erros de Medição 61
4.5.6. Balanço Hídrico – *Top Down* 67
4.5.7. Caudais mínimos noturnos 69
4.5.8. Indicadores de perdas reais 71
4.5.9. Perspetiva geral e projeção 2021 72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 73
5.1. Conclusões 73
5.2. Recomendações 74
Referências 77
Anexo I – *Script* em *Python* 80

Lista de Figuras

Figura 2.2.1 - Componentes do balanço hídrico (Sardinha et al., 2017). 4
Figura 2.2.2 - Balanço hídrico e localização dos pontos de controlo de caudal (Alegre et al., 2005) 7
Figura 2.3.1 - Fluxograma das principais influências num sistema de abastecimento de água (Sardinha et al., 2017). 8
Figura 2.3.2 - Água não faturada por tipologia de entidade gestora, em 2018 (ERSAR, 2019). 9
Figura 2.3.3 - Estrutura de água não faturada nas entidades gestoras do serviço de abastecimento em alta, em 2018 (ERSAR, 2019). 10
Figura 2.3.4 - Estrutura de água não faturada nas entidades gestoras do serviço de abastecimento em baixa, em 2018 (ERSAR, 2019). 10
Figura 2.3.5 - Diminuição das perdas reais (Sardinha et al., 2017). 13
Figura 2.3.6 - Quatro elementos das perdas aparentes (adaptado de Rizzo et al, 2007). 15
Figura 2.3.7 – Representação das abordagens Top Down e Bottom Up (Sardinha et al, 2017). 16
Figura 2.3.8 - Indicadores de desempenho referentes a perdas de água (Sardinha et al., 2017) 17
Figura 2.3.9 - Nível económico de perdas aparentes (adaptado de Thornton et al., 2004) 20
Figura 2.3.10 - Nível económico de perdas reais (adaptado de Thornton et al., 2004) 21
Figura 2.3.11 - Nível económico de perdas reais (Alegre et al., 2005) 22
Figura 2.4.1 - Fases de desenvolvimento de uma entidade gestora (adaptado de Martins, 2014). 23
Figura 2.5.1 - Constituição de um caudalímetro electromagnético: a) tubular; b) de inserção (Henriques et al., 2006). 27
Figura 2.5.2 - Constituição de um caudalímetro ultrassónico (Henriques et al., 2006). 27
Figura 2.5.3 - Constituição de um caudalímetro deprimogéneo (Henriques et al., 2006) 28
Figura 2.5.4 - Contador com acumulação de calcário (Arregui et al., 2005) 28
Figura 2.5.5 - Ligação clandestina (CESDA, 2017) 29
Figura 2.5.6 - Ligação bypass (CESDA, 2017) 30
Figura 2.5.7 - Exemplos de contadores adulterados (CESDA, 2017). 30
Figura 2.5.8 – Videoscópio (CESDA, 2017) 31
Figura 2.6.1 - Estratégia de diminuição de perdas de água (Sardinha et al, 2017). 33
Figura 4.1.1 - Organograma da Penafiel Verde E.M (Penafiel Verde, 2020a). 37
Figura 4.2.1 - Concelho de Penafiel dividido pelas antigas freguesias constituintes (Geneall, 2000). 38
Figura 4.2.2 - Concelho de Penafiel dividido pelas atuais freguesias constituintes (Câmara Municipal de Penafiel, 2017). 39
Figura 4.2.3 - Localização geográfica do concelho de Penafiel com a rede de adução e distribuição representada (na aproximação, a vermelho está destacada a rede de distribuição correspondente à ZMC em estudo). 40

Figura 4.2.4 - Indicadores de Rede de Abastecimento de Água calculados pelo SIG da empresa referentes a toda a toda a rede. 41
Figura 4.2.5 - Representação funcional da rede envolvente ao ponto de estudo (a distribuição destacada a amarelo corresponde à rede em estudo que por sua vez corresponde à ZMC da Central). 42
Figura 4.4.1 - Diagrama representativo das etapas consumadas ao longo deste estudo. 46
Figura 4.5.1 – Distribuição dos tipos de consumidores pelo número de consumidores e do consumo mensal em termos percentuais 52
Figura 4.5.2 - Distribuição percentual dos contadores de água de acordo com a sua marca/modelo. 53
Figura 4.5.3 - Distribuição dos contadores de acordo com os seus anos de colocação. 55
Figura 4.5.4 - Distribuição dos consumidores por freguesias. 56
Figura 4.5.5 - Distribuição dos consumidores da ZMC pelo consumo faturado. 57
Figura 4.5.6 - Distribuição dos consumos da ZMC por tipo de consumidor. 57
Figura 4.5.7 - Consumo médio mensal em função da idade dos contadores. 62
Figura 4.5.8 - Evolução dos componentes do balanço hídrico (abordagem Top Down). 68
Figura 4.5.9 - Indicadores de desempenho da rede antes e depois das intervenções. 68
Figura 4.5.10 - Comparação entre as perdas reais estimadas (Top Down) e o volume combinado das perdas reais e do consumo autorizado noturno (Bottom Up). 71
Figura 4.5.11 – Percentagem de água não fatura em áreas mediamente urbanas no norte do país (ERSAR, 2020). 72

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Componentes principais do balanço hídrico submetido para a ERSAR referente ao ano de 2019. 46
Tabela 4.2 - Distribuição do tipo de consumidores pelo número de consumidores e pelo volume mensal consumido. 51
Tabela 4.3 - Distribuição do parque de contadores de acordo com a sua marca/modelo. 53
Tabela 4.4 - Distribuição dos contadores de acordo com o seu ano de colocação. 55
Tabela 4.5 - Dados referentes à estimativa dos consumos mensais. 59
Tabela 4.6 - Distribuição dos contadores da ZMC em estudo de acordo com a sua marca/modelo. 60
Tabela 4.7 - Dados referentes à distribuição dos contadores por ano de colocação. 60
Tabela 4.8 - Dados referentes à distribuição do volume consumido por tipo de consumidor em 2019. .. 61
Tabela 4.9 - Dados sobre a distribuição do número de consumidores domésticos por ano de colocação e respetiva média mensal de consumo. 62
Tabela 4.10 - Dados da evolução para o cálculo das perdas por erros de medição. 63
Tabela 4.11 - Distribuição dos contadores da antiga freguesia de Novelas pelo ano de colocação. 64
Tabela 4.12 - Codificação dos tarifários associados a consumidores domésticos. 65
Tabela 4.13 - Dados para o cálculo da média mensal de consumo dos consumidores domésticos por tarifário. 65
Tabela 4.14 - Custo da componente variável por tarifário em euros (€). 66
Tabela 4.15 - Dados para o cálculo do prejuízo médio associado à perda de um metro cúbico de água. 66
Tabela 4.16 - Dados da evolução dos componentes do balanço hídrico em metros cúbicos (abordagem Top Down). 67
Tabela 4.17. - Evolução dos caudais mínimos noturnos e respetiva conversão para unidades comparáveis. 70

Abreviaturas

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

ALI	*Apparent Loss Index*
CESDA	Comissão Especializada de Sistemas de Distribuição de Água
CMN	Caudais Mínimos Noturnos
CMP	Câmara Municipal de Penafiel
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETA	Estação de Tratamento de Água
ILI	*Infrastructure Leakage Index*
ISO	*Internation Organization for Standardization*
IWA	*International Water Association*
NEP	Nível Económico de Perdas
PNUEA	Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGC	Sistema de Informação de Gestão de Clientes
STD	Sistema de Telemetria Domiciliária
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UARL	*Unavoidable Annual Real Losses*
ZMC	Zona de Medição e Controlo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A água, essencial para a vida, é uma das substâncias mais importantes no planeta. Com o continuo crescimento da população mundial e com a necessidade de fazer chegar água de qualidade a essas pessoas torna-se vital fazer uma gestão sustentável deste recurso.

Apesar desta gestão sustentável ser um dever de todos os seus consumidores, uma das problemáticas está relacionado com as entidades gestoras responsáveis por sistemas de abastecimento e distribuição de água.

Estas entidades que lidam diariamente com volumes significativos de água devem fazer um controlo cuidadoso sobre a rede que servem. Nenhum sistema é perfeito, e como tal, as perdas de água são inerentes a todas as entidades. A redução das perdas depende exclusivamente dos esforços investidos por cada entidade, esforços esses, que estão condicionados por diferentes fatores particularmente de origem económica.

Infelizmente, o potencial da redução de perdas de água nem sempre é valorizado e consequentemente, é deixado em segundo plano aplicando abordagens de gestão mais na vertente reativa do que preventiva.

Hoje em dia existem várias ferramentas para encarar este tipo de problemas que têm tido cada vez mais aderência dados os seus resultados vantajosos para todos os intervenientes, nomeadamente, para as entidades gestoras.

Na realidade, o combate às perdas de água é um processo demorado, ainda para mais em entidades já estabelecidas. Porém, é importante sensibilizar e assegurar que as empresas estão a ser eficazes e eficientes. É um dever das entidades gerir da melhor forma os recursos que estão à disposição tendo em vista um serviço mais capaz e um futuro mais sustentável.

Nesse sentido, em ambiente empresarial e em colaboração com uma dessas entidades gestoras, nomeadamente, a Penafiel Verde, E.M., foi realizada a presente dissertação que contém uma análise minuciosa dos dados existentes de um dos seus subsistemas de distribuição de água, sistema

este que foi previamente identificado pela empresa acolhedora como um subsistema com falhas significantes na sua eficiência. Desta forma, foram reunidos esforços no sentido de reduzir as perdas de água no subsistema. Esses esforços resultaram em intervenções na rede e foi necessário averiguar a qualidade da abordagem tomada pela empresa assim como os resultados conseguidos. O contributo desta dissertação prende-se então com a análise do subsistema com vista à perceção desses resultados obtidos pelas medidas recentemente aplicadas pela empresa.

1.2. Organização da dissertação

A presente dissertação é composta por 5 capítulos.

- **Capítulo 1**

No primeiro capítulo é feito um enquadramento geral da temática e apresentado o formato e estrutura do documento.

- **Capítulo 2**

No segundo capítulo está presente uma compilação do conhecimento teórico e atualmente aplicado em casos de estudo semelhantes. São abordados os diferentes componentes do balanço hídrico focando nos dois tipos de perdas existentes – reais e aparentes. Para cada tipo de perdas são retratados diferentes indicadores relevantes para o estudo e outras matérias subjacentes pertinentes no âmbito das perdas de água em sistemas de abastecimento.

- **Capítulo 3**

No terceiro capítulo é feita uma clarificação sobre o campo de ação da presente dissertação assim como os objetivos específicos definidos na fase inicial.

- **Capítulo 4**

No quarto capítulo está presente o caso de estudo que incorpora as informações sobre a empresa e sobre o local de estudo, assim como a metodologia e etapas seguidas no decorrer da realização da dissertação fornecendo uma visão direta e clara das decisões tomadas. Neste capítulo insere-se ainda toda a apresentação e análise de dados desenvolvida.

- **Capítulo 5**

No quinto capítulo estão presentes as principais conclusões tiradas deste estudo assim como recomendações indicadas para a empresa no sentido de aperfeiçoar metodologias utilizadas até à data.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Breve enquadramento

A temática da água tem sido uma das mais debatidas ao longo do tempo, tanto pela sua relevância no desenvolvimento das sociedades, como pela sustentabilidade da vida no planeta (Sardinha et al., 2017). Os mesmos autores estimam que, em 2050, existam aproximadamente 11 mil milhões de indivíduos, o que se irá refletir na elevada concentração urbana da população, no stress hídrico e na escassez da água.

Desse modo, é essencial a implementação de práticas eficientes que contribuam para a diminuição das perdas de água, assim como, técnicas de gestão e de novas tecnologias, que incentivem atitudes e comportamentos mais sustentáveis (Sardinha et al., 2017).

Quanto à legislação vigente nesta área, no que respeita à defesa dos direitos do utilizador, é de realçar a Lei n.º 23/96, de 26 de julho (revogada pela Lei n.º 51/2019, de 29 de julho), que estabelece o ordenamento jurídico de mecanismos que salvaguardam os serviços públicos essenciais, nomeadamente o serviço de fornecimento de água, onde se expressa que o prestador de serviço deve agir de boa fé e em conformidade com os deveres de natureza pública do serviço, considerando os interesses da sociedade que se pretende proteger (artigo n.º 3). Isto mostra que o serviço de fornecimento de água deve ser de aplicação universal, de modo a que todos os indivíduos tenham acesso ao mesmo (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos – ERSAR, 2019).

Para além desta Lei, também são de salientar, segundo a ERSAR (2019):

- Decreto-Lei n.º 446/85, de 25 de outubro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 323/2001, de 17 de dezembro), que estabelece o regime jurídico das cláusulas contratuais gerais;

- Lei n.º 24/96, de 31 de julho (alterada pela Lei n.º 63/2019, de 16 de agosto), que estabelece o regime aplicável à defesa dos consumidores;
- Lei n.º 25/2004, de 8 de julho, que transpõe para o âmbito nacional a Diretiva n.º 98/27/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio, referente às ações inibitórias na proteção dos interesses dos consumidores;
- Resolução da Assembleia da República n.º 234/2017, de 18 de outubro, que recomenda a promoção da divulgação dos dados relativos à qualidade da água junto dos consumidores, de forma simples e eficaz;
- Decreto-Lei n.º 147/2017, de 5 de dezembro, que estabelece o regime da tarifa social no contexto da prestação dos serviços de águas.

2.2. Balanço Hídrico

O conceito de balanço hídrico corresponde a uma ferramenta de análise dos componentes de um sistema de abastecimento de água. Esta ferramenta foi concebida na década de 2000, devido à necessidade de avaliar o volume das perdas de água e de proceder à comparação entre os desempenhos de diversas entidades gestoras (Sardinha et al., 2017).

Na Figura 2.2.1 observa-se o balanço hídrico e os respetivos componentes, que devem ser calculados durante um período recomendado de 12 meses, de modo a representar a sua média anual (Sardinha et al., 2017).

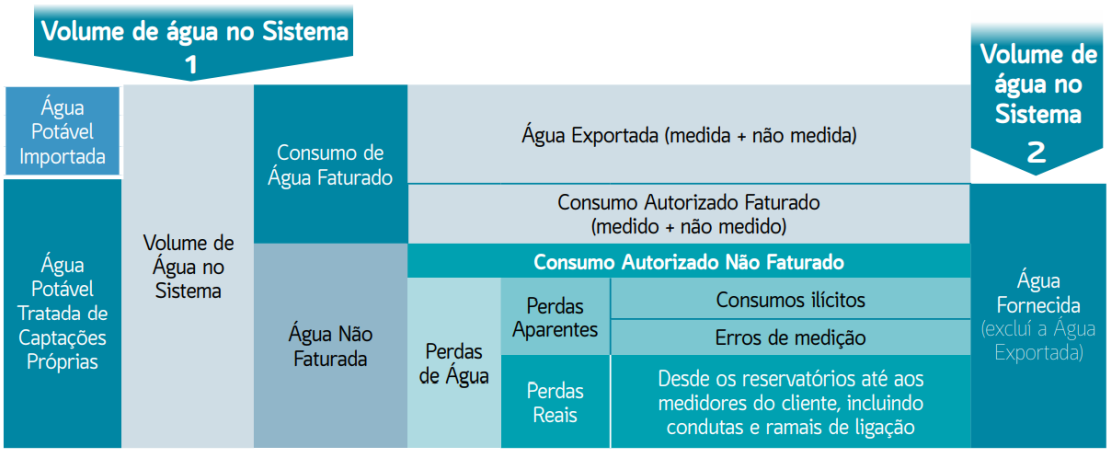

Figura 2.2.1 - Componentes do balanço hídrico (Sardinha et al., 2017).

De seguida são descritos os principais componentes do balanço hídrico, segundo Sardinha et al. (2017).

- Volume de água no sistema corresponde ao volume anual de água que entra no sistema de distribuição;
- Consumo de água faturado ou autorizado corresponde ao volume anual de água que é medido ou não medido, sendo efetivamente consumido pelos clientes, fornecedores, indivíduos que desempenham compromissos sociais para o seu consumo (e.g. incêndios) ou o volume de água que é exportado e as fugas que existem depois do ponto de medição dos clientes;
- Água não faturada, ou seja, a diferença existente entre o volume de água que se encontra no sistema e o consumo autorizado e realmente faturado. Esta diferença resulta no consumo autorizado não faturado;
- Perdas de água, ou seja, a diferença existente entre o volume de água que se encontra no sistema e o consumo autorizado, perfazendo o conjunto das perdas reais e aparentes;
- Perdas aparentes correspondem aos consumos ilegais e furtos, podendo ser calculado através do número de ligações ilegais, do número de contadores avariados e das estimativas do consumo per-capita do volume usado;
- Perdas reais correspondem ao volume anual perdido através de fugas, roturas e extravasamentos das condutas, reservatórios e ramais, até ao ponto de medição do cliente.

Alguns autores usam termos ligeiramente distintos e optam por utilizar uma composição ainda mais pormenorizada integrando a totalidade do sistema. Para Alegre et al. (2005), o balanço hídrico engloba as principais entradas e saídas de água, que se estendem desde a captação de água bruta até ao consumo de água utilizada pelos clientes (Figura 2.2.2).

Os componentes do balanço hídrico, segundo Alegre et al. (2005), são:

- Água captada refere-se ao volume anual de água obtida a partir de captações de água bruta e que é disponibilizada às ETA ou aos sistemas de adução e de distribuição;
- Água bruta, importada ou exportada refere-se ao volume anual de água bruta que é transferido para ou de outros sistemas de adução e de distribuição;
- Água fornecida ao tratamento refere-se ao volume anual de água bruta que desemboca nas instalações de tratamento;
- Água produzida refere-se ao volume anual de água tratada que é disponibilizado pelas condutas de adução ou do sistema de distribuição;

- Água tratada, importada ou exportada refere-se ao volume anual de água tratada que é transferido de/ou para o sistema, podendo ocorrer em qualquer ponto a jusante do tratamento;
- Água fornecida à adução refere-se ao volume anual de água tratada que desemboca no sistema de adução;
- Água fornecida para distribuição refere-se ao volume anual de água tratada que desemboca no sistema de distribuição;
- Água fornecida para distribuição direta refere-se ao volume de água que perfaz a diferença entre a água fornecida para distribuição e a água tratada exportada. No caso de não ser possível proceder a separação da adução da distribuição, a água fornecida para distribuição será a diferença entre a água fornecida à adução e a água tratada exportada;
- Água entrada no sistema refere-se ao volume anual de água que é inserido na parte do sistema de abastecimento de água;
- Consumo autorizado refere-se ao volume anual de água que é medido ou não medido, faturado ou não faturado, disponibilizado aos consumidores registados e a outros indivíduos para fins domésticos, comerciais ou industriais e à própria entidade gestora (e.g. utilizada em incêndios; lavagem de condutas e coletores; lavagem de ruas; rega de espaços verdes públicos; água para obras; fugas e desperdícios);
- Perdas de água corresponde à diferença existente entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado, podendo ser perdas reais ou aparentes, que serão abordadas posteriormente;
- Água não faturada corresponde à diferença existente entre os totais anuais da água entrada no sistema e do consumo autorizado faturado (e.g. perdas reais e aparentes, consumo autorizado não faturado).

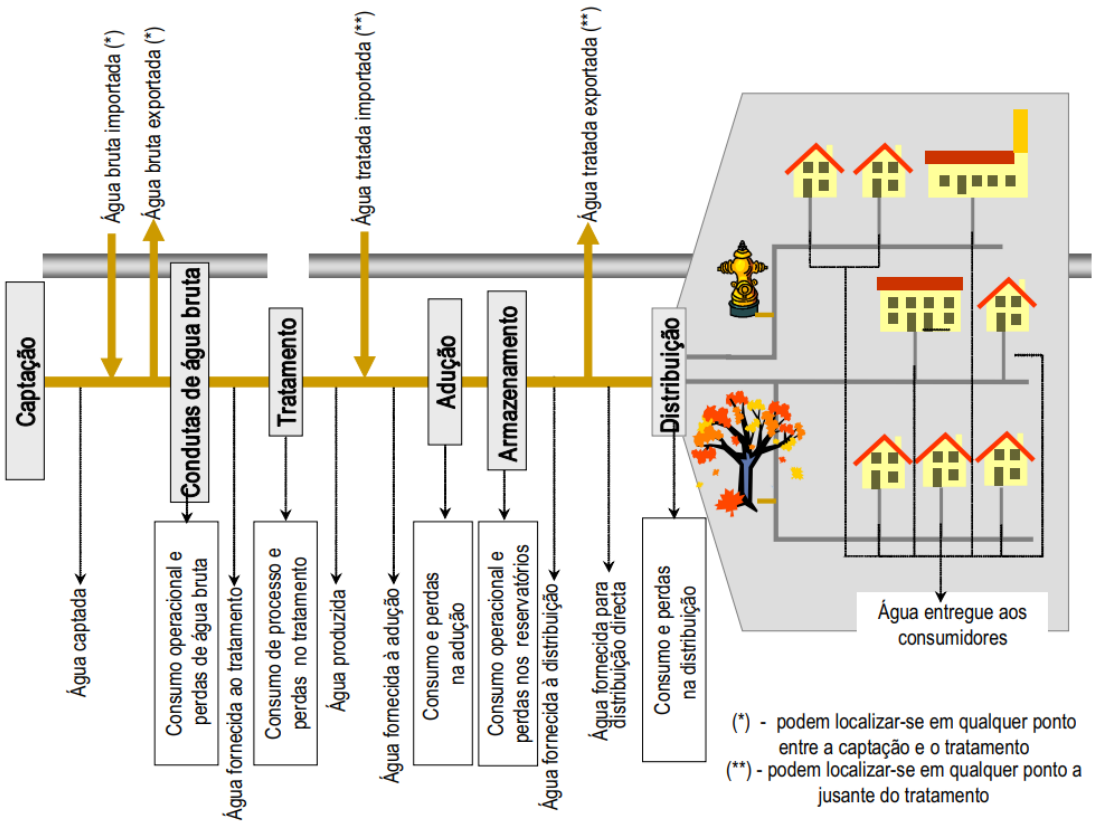

Figura 2.2.2 - Balanço hídrico e localização dos pontos de controlo de caudal (Alegre et al., 2005)

Quanto ao cálculo do balanço hídrico, Martins (2009) enumera um conjunto de passos que devem ser seguidos. Em primeiro lugar, é essencial delimitar os sistemas avaliados e as datas de referência (geralmente 12 meses). Depois, é determinado o volume de água de entrada no sistema, o consumo faturado medido, o consumo faturado não medido e o total do consumo autorizado faturado e de água faturada. Também é calculado o volume de água não faturada, que corresponde à diferença entre a água faturada e a água entrada no sistema, assim como, delimitado o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido e registado o total em consumo autorizado não faturado. Posteriormente, são somados o consumo autorizado faturado e o consumo autorizado não faturado, cujo resultado permanece como consumo autorizado. Posteriormente, são calculadas as perdas de água, avaliadas as parcelas de uso não autorizado e dos erros de medição, calculadas as perdas reais, avaliadas as parcelas de perdas reais, através da análise de caudais noturnos, dados de zona de medição de controlo, cálculos de frequência/caudal/duração das roturas, modelação de perdas apoiadas em dados locais sobre o nível-base de perdas, entre outros.

A este respeito, Sardinha et al. (2017) acrescentam que o balanço hídrico deverá privilegiar a medição efetiva de volumes. Contudo, sempre que tal não seja possível, o balanço hídrico deverá ser avaliado através de cada componente dos volumes e dos consumos de água, optando pela vertente mais realista e credível. Para além disso, é necessário considerar a existência de alguns erros ou ambiguidades que possam influenciar o volume relativo à água não faturada e às perdas reais.

2.3. Perdas de água

2.3.1. Perdas em entidades gestoras

De acordo com Arregui et al. (2006), as perdas são consideradas como a diferença existente entre a água de entrada no sistema e o consumo autorizado, que pode ser faturado ou não faturado.

O fluxograma das principais influências num sistema de abastecimento de água, onde se observa que entre a água captada e a água faturada podem ocorrer diversas perdas na água produzida, nomeadamente, perdas na produção, adução, distribuição, água exportada para outros sistemas, água operacional e de uso legal e perdas aparentes (Figura 2.3.1). Também é visível a entrada de água importada de outros sistemas.

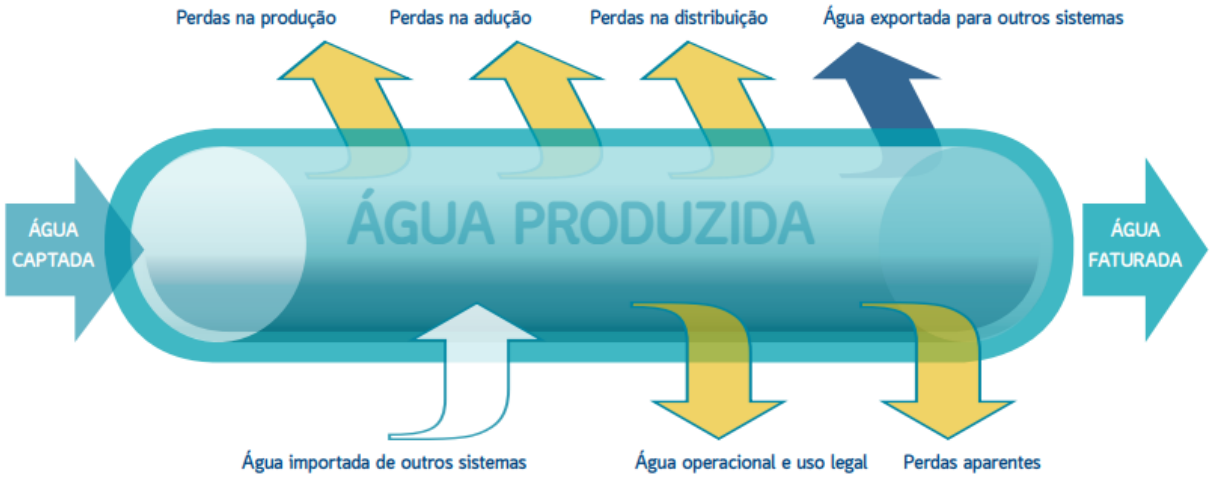

Figura 2.3.1 - Fluxograma das principais influências num sistema de abastecimento de água (Sardinha et al., 2017).

Quanto à água não faturada, esta engloba todas as perdas, tanto reais, como aparentes (Sardinha et al., 2017). Nesta área é essencial diferenciar a tipologia dos serviços de água e resíduos, que pode ser alta ou baixa, conforme as atividades realizadas pelas diversas entidades

gestoras. Isto significa que a tipologia alta é da incumbência dos sistemas multimunicipais, enquanto que a baixa é da incumbência dos sistemas municipais (atividades grossistas e retalhistas dos setores de abastecimento de água, saneamento de águas residuais urbanas e gestão de resíduos urbanos.

De acordo com dados da ERSAR (2019), a quantidade de água não faturada no serviço de abastecimento de água em alta correspondia a 31,6 milhões de m^3, perfazendo um total de 5,1% do total de água entrada nos sistemas (615,5 milhões de m^3). Por sua vez, nas entidades gestoras do serviço de abastecimento de água em baixa, a água não faturada correspondia a 238,9 milhões de m^3, perfazendo um total de 29,4% do total de entrada nos sistemas (811,3 milhões de m^3) (Figura 2.3.2).

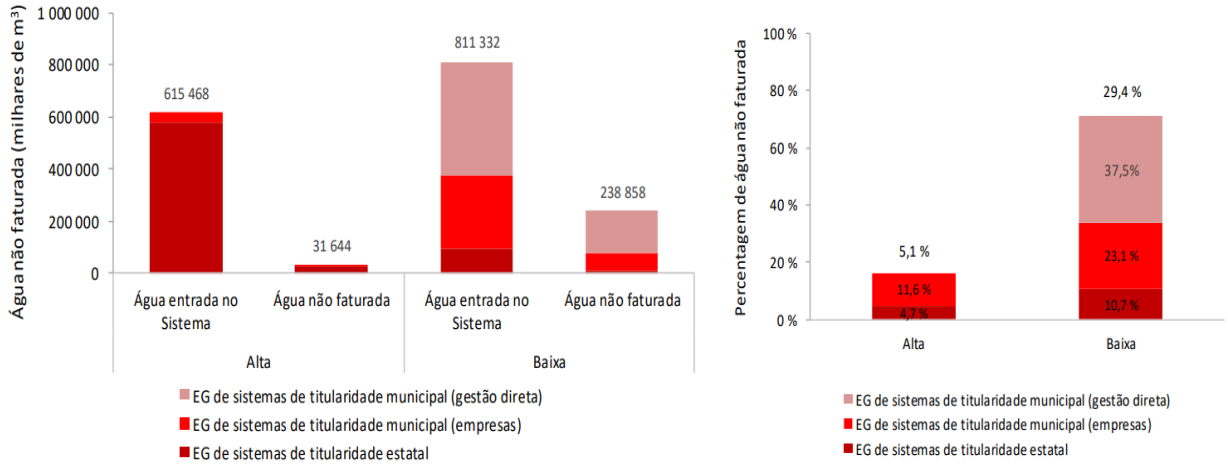

Figura 2.3.2 - Água não faturada por tipologia de entidade gestora, em 2018 (ERSAR, 2019).

Também se verifica que no serviço de abastecimento de água em alta, sobretudo nas entidades gestoras de sistemas de titularidade municipal (empresas), a água não faturada alcança 11,6% do total da água entrada nos sistemas. No serviço de abastecimento de água em baixa destacam-se as entidades gestoras de sistemas de titularidade municipal (gestão direta) com 37,5% do total da água entrada nos sistemas (Figura 2.3.2). Quanto à origem da água não faturada, nos sistemas em alta, esta resulta na sua maioria de perdas reais (68,4%), seguida das perdas aparentes (12,3%) (Figura 2.3.3).

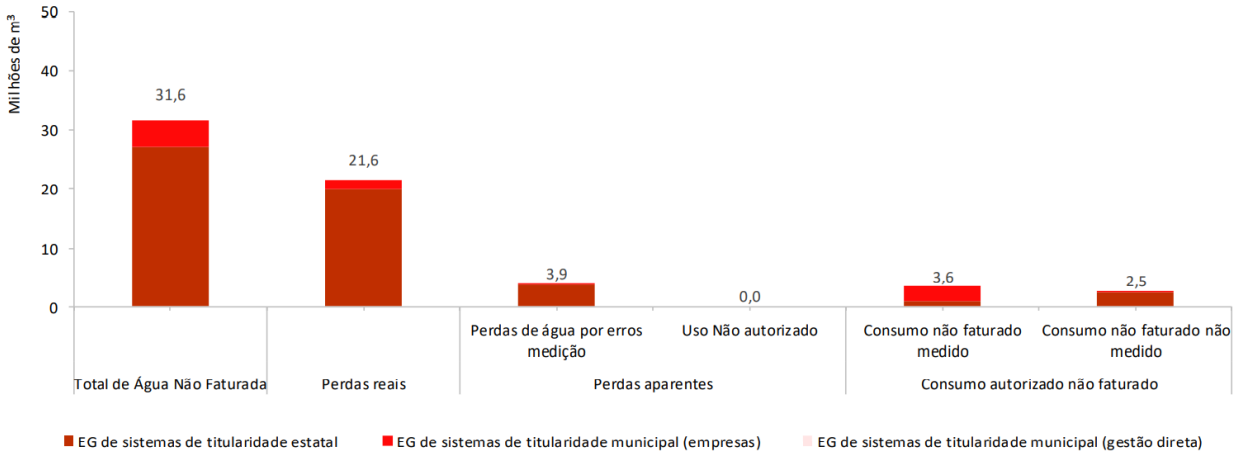

Figura 2.3.3 - Estrutura de água não faturada nas entidades gestoras do serviço de abastecimento em alta, em 2018 (ERSAR, 2019).

Quanto ao serviço de abastecimento de água em baixa evidencia-se que a origem da água não faturada, resulta na sua maioria de perdas reais (71,8%), seguida das perdas aparentes (15,7%) (Figura 6). Também é de realçar o facto das entidades de sistemas de titularidade municipal (gestão direta) apresentarem os níveis mais elevados de água não faturada.

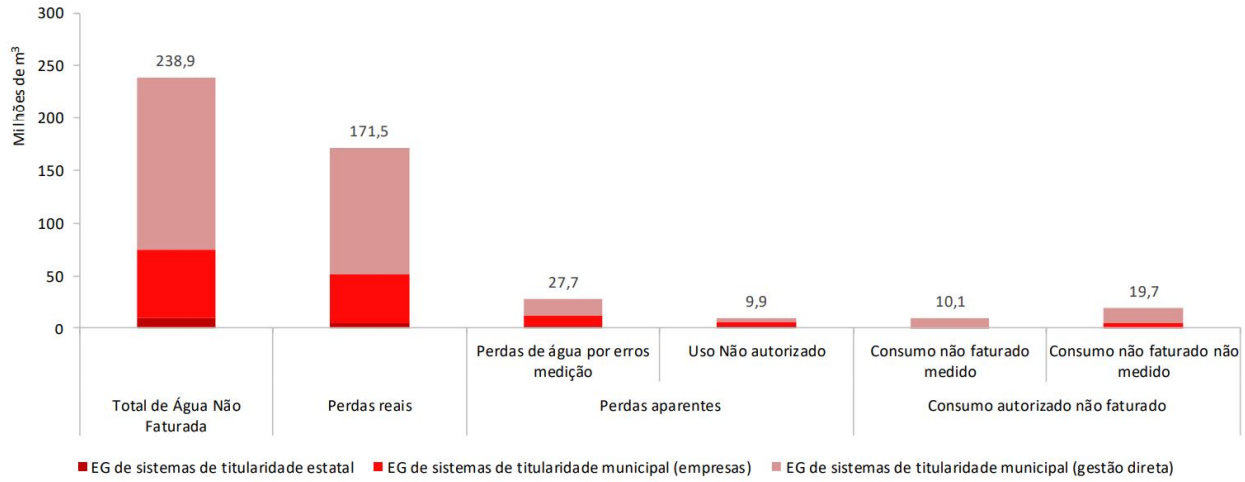

Figura 2.3.4 - Estrutura de água não faturada nas entidades gestoras do serviço de abastecimento em baixa, em 2018 (ERSAR, 2019).

Ainda, quanto à sua classificação, as perdas de água dividem-se em três níveis, de acordo com Thornton et al. (2004):

- Técnico, uma vez que nem toda a água disponibilizada pela entidade gestora chega ao cliente;
- Financeiro, pois, nem toda a água que chega ao destino final do cliente é medida ou faturada;
- Terminológico, pois, os padrões de perdas de água estão definidos de forma errónea.

Relativamente à classificação das perdas, estas dividem-se, como já foi demonstrado, em perdas reais e perdas aparentes.

2.3.2. Perdas reais

As perdas reais correspondem às perdas resultantes da ausência de qualidade ou degradação das infraestruturas, que englobam as fugas e roturas em condutas e ramais e extravasamentos de reservatórios (Arregui et al., 2006; Sardinha et al., 2017).

As fugas podem ocorrer em diversos locais, tais como: fugas em condutas de adução ou distribuição; fugas nas paredes dos reservatórios e o subsequente extravasamento; fugas nos ramais de ligação; perdas base (pequenas fugas que não são detetáveis pelos equipamentos de deteção, sendo caracterizadas por caudais baixos, de longa duração e com grandes volumes perdidos); perdas por roturas (caudais elevados, de curta duração e com moderados volumes perdidos); perdas por fugas não comunicadas (caudais médios, de variável duração e volume, detetadas através de controlo ativo de fugas) (Sardinha et al., 2017).

2.3.2.1. Causas das perdas reais

As perdas reais podem ser causadas por diversos fatores. Esses fatores são: instalação deficiente da rede e acessórios; flutuações de pressão; corrosão e condições ambientais; falta de manutenção; tráfego automóvel; pressão média de serviço; estado das condutas; densidade e comprimento médio de ramais; localização do medidor domiciliário no ramal; comprimento total das condutas; tipo de solo; tempo em que o sistema está sob pressão (Alegre et al., 2005; Butler, 2009; Lambert, 2003; Thornton et al., 2004).

Para Sardinha et al. (2017), os fatores que causam as perdas reais são: estado das condutas de transporte e distribuição; material, idade e cuidados no pavimento das condutas; qualidade e quantidade das ligações de serviço ou ramais; pressão de serviço a que o sistema está submetido; flutuações de pressão diárias; estado dos órgãos de proteção contra os regimes transitórios

hidráulicos; proteção contra corrosão; materiais aplicados nas reparações; estado das paredes dos reservatórios; descargas de superfície; condições geotécnicas; instabilização do solo; cargas de tráfego automóvel ou outros veículos.

2.3.2.2. Gestão das perdas reais

Se as perdas mencionadas anteriormente não forem controladas, então, poderão danificar a rede de distribuição e dos ramais de ligação, levando à perda de pressão na rede domiciliaria, assim como, danos nas infraestruturas; custos elevados de reparação; indemnização por danos causados; introdução de ar na rede de distribuição, resultante em danos nos contadores e em medições de consumo real erradas, que se irão refletir na fatura da água; aumento da infiltração de água no sistema de esgotos; risco para a saúde pública, pois, contribui para a infiltração de águas residuais e outros poluentes na rede de abastecimento (Farley, 2001; Thornton et al., 2004).

De modo a atenuar ou evitar esses danos, as entidades competentes por esta área devem adotar algumas medidas de gestão, para que seja conseguido um nível de perdas reais que seja menor do que a relação de custos entre o valor da água perdido por perdas reais e o custo das atividades desenvolvidas para a sua diminuição. A este processo designa-se por nível económico de perdas (NEP) (Sardinha et al., 2017).

Nesse sentido, a International Water Association (IWA) delineou quatro medidas de gestão das perdas reais:

- Gestão da pressão, deve manter os níveis de pressão baixos na rede, de modo a garantir e estabilizar as pressões;
- Rapidez e qualidade das reparações, de modo a diminuir o volume de perdas e a controlar os níveis de volume;
- Gestão dos ativos da rede, através de um sistema de gestão integrado de ativos disponibilizado pelas entidades gestoras, que permitam equilibrar o desempenho, custo e risco dos ativos e facilitar a adoção de políticas de manutenção, substituição ou renovação;
- Controlo ativo das fugas, recorrendo a equipas especializadas e ao controlo constante do sistema de abastecimento.

Na Figura 4 observam-se as quatro vertentes de diminuição das perdas reais.

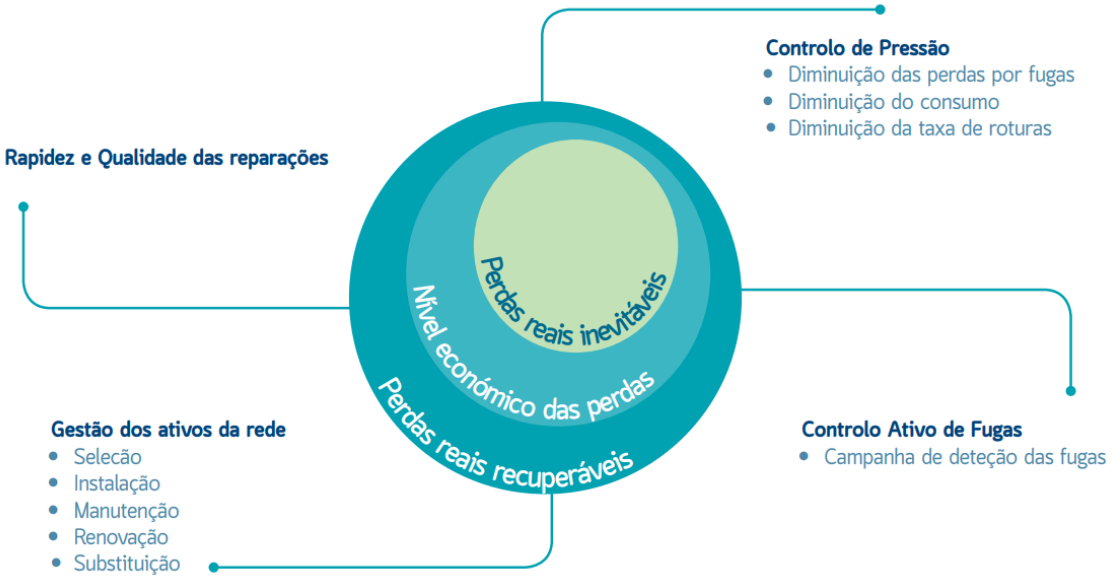

Figura 2.3.5 - Diminuição das perdas reais (Sardinha et al., 2017).

Para Farley (2001), o controlo das fugas deve basear-se em quatro fatores: a) disponibilidade de recursos financeiros, humanos e água; b) estado das infraestruturas materiais, política de renovação e pressão de serviço; c) política institucional, estrutura, regulamentação e atitude; d) política de controlo de fugas, através de perceção, atividade e conhecimentos técnicos.

Nesta linha de pensamento, Butler (2009) encara a política de controlo de fugas em duas perspetivas: política de controlo passivo e política de controlo ativo. A política de controlo passivo ocorre quando as fugas são visíveis ou quando as entidades gestoras são avisadas pelos indivíduos, devendo ser implementada no caso de os custos de detenção de fugas serem elevados; os custos de produção de água forem baixos ou se as fugas forem facilmente percetíveis e reparadas. Já, a política de controlo ativo é mais privilegiada do que a anterior, pois apresenta uma boa relação custo-benefício, ou seja, tanto pode ser reparada pelas entidades gestoras, como pelos clientes (rede privada). Para além disso, esta política exige custos adicionais, na medida em que utiliza medidores de caudal que devem ser instalados, assim como, custos operacionais relativos à afetação de equipas que irão detetar as fugas.

2.3.3. Perdas aparentes

As perdas aparentes correspondem às perdas resultantes de erros de medição em medidores de caudais ou contadores, leituras em falta por inacessibilidade aos contadores e utilização não

autorizada, através de ligações ilegais e fraudes de bocas-de-incêndio/marcos (Arregui et al., 2006).

Para além disso, as perdas aparentes referem-se a volumes que não são contabilizados, mas que não são relativos a fugas, podendo dividir-se em consumos não autorizados (furto de água) e imprecisões na medição dos consumos (erros de medição e falhas no manuseamento de dados) (Sardinha et al., 2017).

2.3.3.1. Causas das perdas aparentes

As perdas aparentes podem ser causadas por diversos fatores. Esses fatores, segundo Sardinha et al. (2017), são:

- Imprecisão de contadores, pode ocorrer devido à falta de medição causada por caudais baixos e falta de precisão, assim como, a classe de precisão baixa; contador avariado ou obsoleto; política desajustada de manutenção ou substituição;
- Intervenções ilegais sobre o medidor, resultantes da realização de um *bypass* ao contador ou ao vandalismo;
- Erros ou fraude por parte do cliente, nomeadamente, menor volume registado no sistema de faturação; leituras falsas; erro na transferência de dados; erros no software de faturação.

Outras causas das perdas aparentes referem-se às ligações sem contador; reabertura de ligações inativas; falhas de cadastro; utilização baseada na fraude de hidrantes (Alegre et al., 2005; Thornton et al., 2004).

Nesse sentido, Alegre et al. (2005) acrescentam que os reservatórios existentes nos domicílios atenuam o diagrama de consumo, levando a que o caudal que passa no contador seja mais reduzido, apresente erros de medição mais elevados, com possibilidades de fugas ou extravasamentos dentro das residências e com caudais instantâneos baixos, que são manuseados para diminuir a contagem realmente utilizada.

2.3.3.2. Gestão das perdas aparentes

De modo a atenuar ou evitar as perdas aparentes é necessária a implementação de medidas para o consumo não autorizado e uma gestão adequada dos contadores, assim como, o controlo e análise de dados recebidos e o controlo do manuseamento dos dados de faturação (Sardinha et al., 2017).

Para o efeito, devem ser delineados planos de verificação metrológica dos contadores, renovação dos contadores e medição sem falhas dos contadores. Também é crucial o controlo da utilização não autorizada de água através da observação de ligações ilegais e o recurso a programas informáticos credíveis e fiáveis (Sardinha et al., 2017).

As perdas aparentes são formadas por quatro elementos que se interrelacionam, segundo Rizzo et al. (2007). Na Figura 10 observa-se que os quatro elementos são: Submedição, erros de leitura, uso ilegal e erros de faturação. O retângulo central exterior representa as perdas aparentes recuperáveis, que as entidades gestoras devem eliminar o mais rapidamente possível, enquanto que o retângulo interior representa o nível económico de perdas.

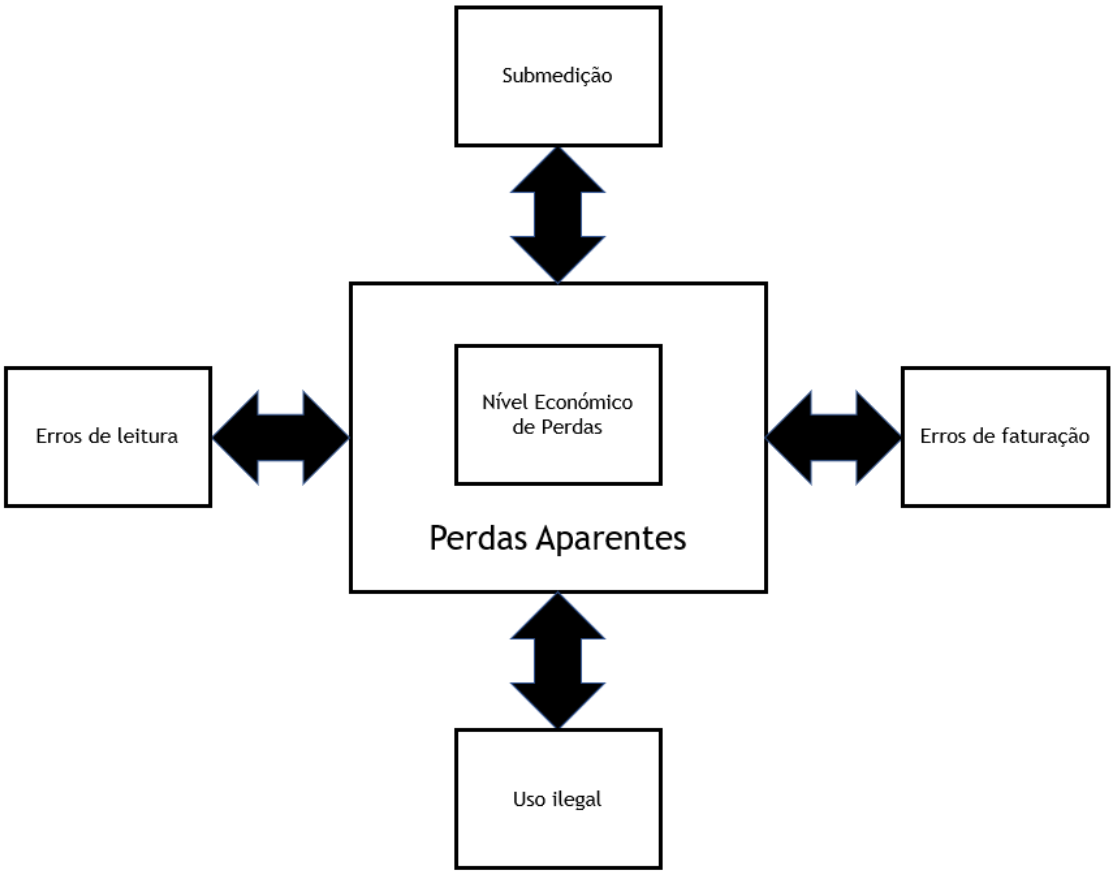

Figura 2.3.6 - Quatro elementos das perdas aparentes (adaptado de Rizzo et al, 2007).

2.3.4. Abordagens no cálculo das perdas

De acordo com Sardinha et al. (2017), as perdas reais e aparentes podem ser encaradas sob diversas abordagens, no que se refere ao seu cálculo. Assim, as abordagens mais frequentemente utilizadas são:

- Abordagem *Top-Down*, baseia-se na informação disponibilizada pelo gabinete, com recurso a um conjunto de estimativas;
- Abordagem *Bottom-Up*, baseia-se em sistemas divididos por setores e suscetíveis de medição constante, onde são calculados os volumes de perdas reais a partir dos valores de caudais noturnos. Os valores de caudais noturnos são obtidos através do terreno, sendo valores credíveis e fiáveis. Contudo, carecem de conhecimentos da rede e de uma gestão mais complexa que permita controlar a rede.



Figura 2.3.7 – Representação das abordagens Top Down e Bottom Up (Sardinha et al, 2017).

2.3.5. Indicadores relativos às perdas

Segundo Sardinha et al. (2017), os indicadores de desempenho utilizados para o cálculo das perdas de água podem ser divididos em quatro: a) água não faturada; b) perdas de água; c) perdas reais; d) perdas aparentes.

Estes indicadores contribuem para que seja realizada a comparação entre as diferentes entidades gestoras de diversos países, pois, reveste-se de uma ferramenta essencial para a tomada de decisões, assim como, para a melhoria contínua e o aumento do conhecimento sobre os desempenhos dos sistemas (Sardinha et al., 2017).

Na Figura 2.3.10 afere-se que a água não faturada corresponde ao tipo financeiro, tendo como indicador de desempenho o volume de água não faturada como % do volume de água no sistema. As perdas de água e perdas aparentes correspondem ao tipo operacional e tem como indicador de desempenho m^3/ramal/ano, enquanto que as perdas reais, são do tipo recurso hídrico e tem como indicador de desempenho o volume de perdas reais como % do volume de água no sistema. Por sua vez, as perdas reais/dia correspondem ao tipo de sistema operacional, tendo como indicador de desempenho litros/ramal/dia para sistemas com 20 ou mais ramais/km conduta.

Componente	Tipo	Indicador de Performance base	Indicador de Performance detalhado
Água Não Faturada	Financeira	Volume de ANF como % do Volume de água no sistema	Valor de ANF como % de custo do sistema
Perdas de Água	Operacional	m^3/ramal/ano	-
Perdas Aparentes	Operacional		m^3/ramal/ano
Perdas Reais	Recurso Hídrico	Volume de perdas reais como % do Volume de água no sistema	-
Perdas Reais (em cada caso, este indicador é calculado "/dia" quando o sistema está pressurizado para permitir o efeito do abastecimento intermitente)	Sistema Operacional	Litros/ramal/dia para sistemas com 20 ou mais ramais/km conduta Uso de m^3/km/dia para sistemas com menos de 20 ramais/km	Índice de fugas na infra-estrutura: definido como o rácio entre as Perdas reais anuais e as Perdas reais anuais inevitáveis = CARL/ UARL

Figura 2.3.8 - Indicadores de desempenho referentes a perdas de água (Sardinha et al., 2017)

2.3.5.1. Indicadores financeiros

Os indicadores financeiros alusivos à água não faturada podem ser representados através de percentagem, volume ou custo (Sardinha et al., 2017).

No caso do consumo autorizado, mas não faturado, e das perdas aparentes, estas devem ser avaliadas consoante o preço de venda da água, pois, estas traduzem o volume de água que seria disponibilizado ao cliente, perfazendo uma perda económica para a entidade gestora (Sardinha et al., 2017).

Já as perdas reais devem ser avaliadas a partir do custo médio de produção de água, ou no preço de compra da água tratada e importada, se esta for adquirida a outra entidade gestora (Sardinha et al., 2017).

Em suma, com estes indicadores pretende-se reconhecer as perdas financeiras do sistema, nomeadamente, falta de receitas da venda ou custos em demasia na produção e distribuição da água (Sardinha et al., 2017).

2.3.5.2. Indicadores de perdas reais

O objetivo destes indicadores passa por avaliar a eficiência da entidade gestora relativamente à gestão de perdas reais perante o regime de pressão em que se encontra inserido (Sardinha et al., 2017).

De acordo com Lambert (2009), o indicador de perdas reais mais frequentemente utilizado é o UARL – *Unavoidable Annual Real Losses*, cuja fórmula é a seguinte:

$$\mathrm{UARL}\left(\frac{\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{ramal}}}{\mathrm{hora}}\right) = \left[18 \times \frac{\mathrm{L_m}}{\mathrm{N_c}} + 0{,}8 + 25 \times \mathrm{L_p}\right] \times \frac{\mathrm{P_{med}}}{24} \qquad (1)$$

Onde,

$\boldsymbol{L_m}$ – comprimento da rede (km);
$\boldsymbol{N_c}$ – número de ramais;
$\boldsymbol{L_p}$ – comprimento medio enterrado dos ramais (km);
$\boldsymbol{P_{med}}$ – pressão media de operação na zona em estudo (m).

Adicionalmente, é utilizado também o *ILI – Infrastructure Leakage Index*, que corresponde ao quociente entre as perdas reais anuais atuais (também denominado, em inglês, CARL – Current Annual Real Losses) e o UARL. Este indicador representa adimensionalmente a condição geral da gestão da infraestrutura sob o regime de pressão a que está sujeita (Sardinha et al., 2017).

$$\mathrm{ILI} = \frac{\mathrm{CARL}}{\mathrm{UARL}} \qquad (2)$$

Sendo assim, um ILI próximo de 1 equivale a um sistema muito gerido. Segundo Lambert (2009), um valor de ILI inferior a 2 indicará que uma redução de perdas não será economicamente viável. Valores de ILI acima de 8 corresponderá a sistemas muito deficientes ao nível de gestão de perdas.

2.3.5.3. Indicadores de perdas aparentes

A medição das perdas aparentes é realizada através do indicador *Apparent Loss Index* (ALI), cujo objetivo passa por relacionar o valor das perdas aparentes com um valor de referência de 5% da água faturada (Rizzo et al., 2007).

A sua fórmula é a seguinte:

$$\text{ALI} = \frac{\text{Valor de perdas aparentes}}{5\% \text{ de água faturada}} \quad (3)$$

2.3.6. Nível Economico de Perdas

O conceito de nível económico de perdas corresponde a situação onde o custo de diminuição de perdas/unidade de volume é igual ao custo de produção/unidade de volume de água (Covas, 2008).

De modo a obter o nível económico de perdas total é essencial considerar o nível económico de perdas reais e o de perdas aparentes, pois, estas apresentam resultam de diferentes origens às quais serão aplicadas diferentes medidas para a sua diminuição (Covas, 2008).

Algumas variáveis que podem influenciar o nível económico de perdas englobam a pressão e frequência de roturas; disponibilidade financeira da entidade gestora; recomendações da Entidade Reguladora; alteração da operação do sistema; relação custo/valor da água; estado de manutenção das infraestruturas e restantes órgãos; tecnologia utilizada para a deteção, localização e reparação de fugas (Gomes, 2011).

Segundo Thornton et al. (2004), o nível económico de perdas aparentes baseia-se na análise do balanço custo/benefício entre o investimento necessário para a sua diminuição e os benefícios financeiros subjacentes, enquanto que o nível económico de perdas reais, baseia-se numa estratégia de controlo mais complexa (Figuras 2.3.11 e 2.3.12).

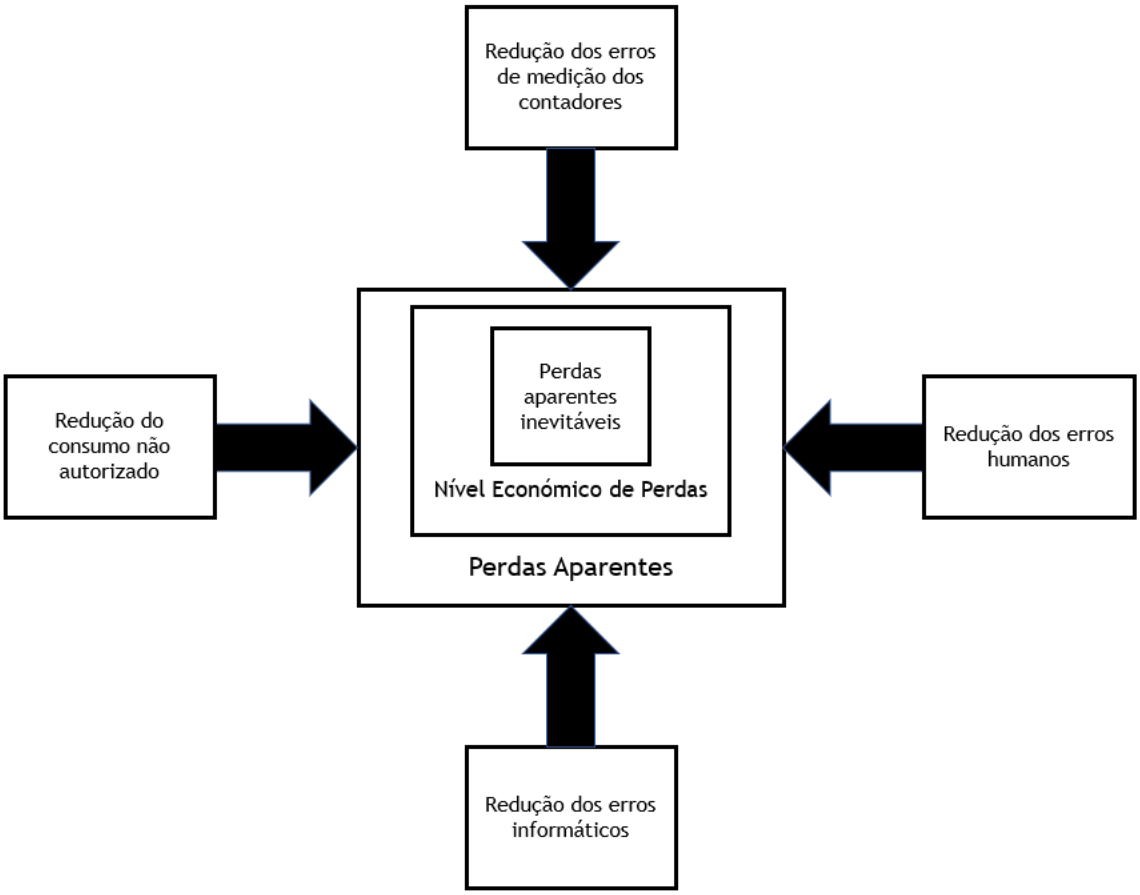

Figura 2.3.9 - Nível económico de perdas aparentes (adaptado de Thornton et al., 2004)

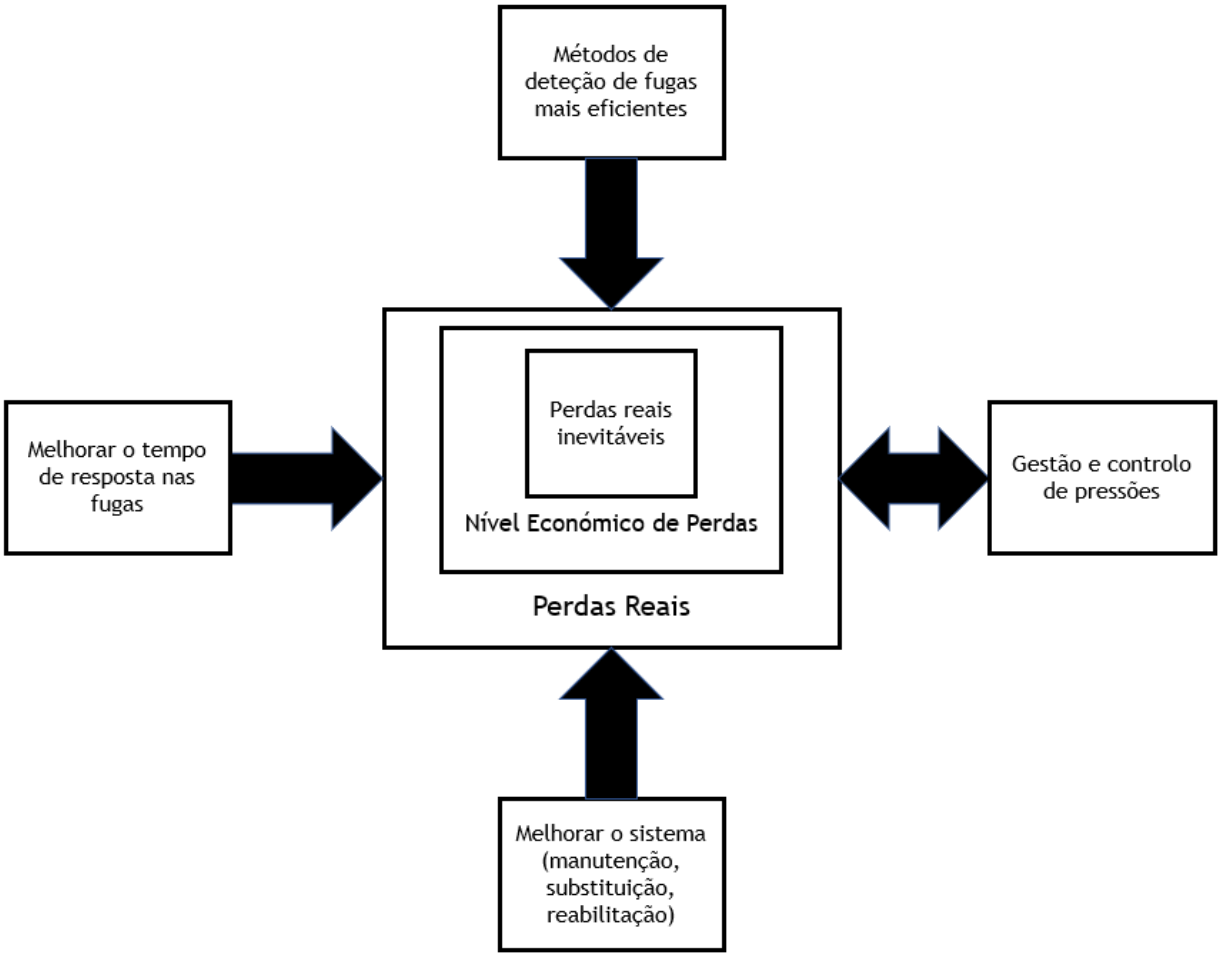

Figura 2.3.10 - Nível económico de perdas reais (adaptado de Thornton et al., 2004)

Nas figuras 2.3.11 e 2.3.12 verifica-se que o nível económico de perdas nunca pode ser inferior ao nível de perdas inevitáveis, apesar do mesmo poder ser reduzido através de algumas medidas. No caso das perdas aparentes destaca-se a diminuição dos erros de medição, diminuição de roubos de água, diminuição de erros informáticos e diminuição de erros humanos. Por sua vez, nas perdas reais salienta-se a melhoria da eficiência na deteção de fugas, melhoria do tempo de resposta e reparação das fugas, melhoria da manutenção, substituição e reabilitação do sistema e gestão da pressão (Thornton et al., 2004).

Alegre et al. (2005) exemplificam o nível económico de perdas através de uma curva de custo total, que resulta da soma do custo do controlo ativo de perdas e do custo da água perdida, onde o patamar mínimo da curva representa o nível económico de perdas. Os mesmos autores referem que esta curva também pode ser aplicável às perdas reais e aparentes.

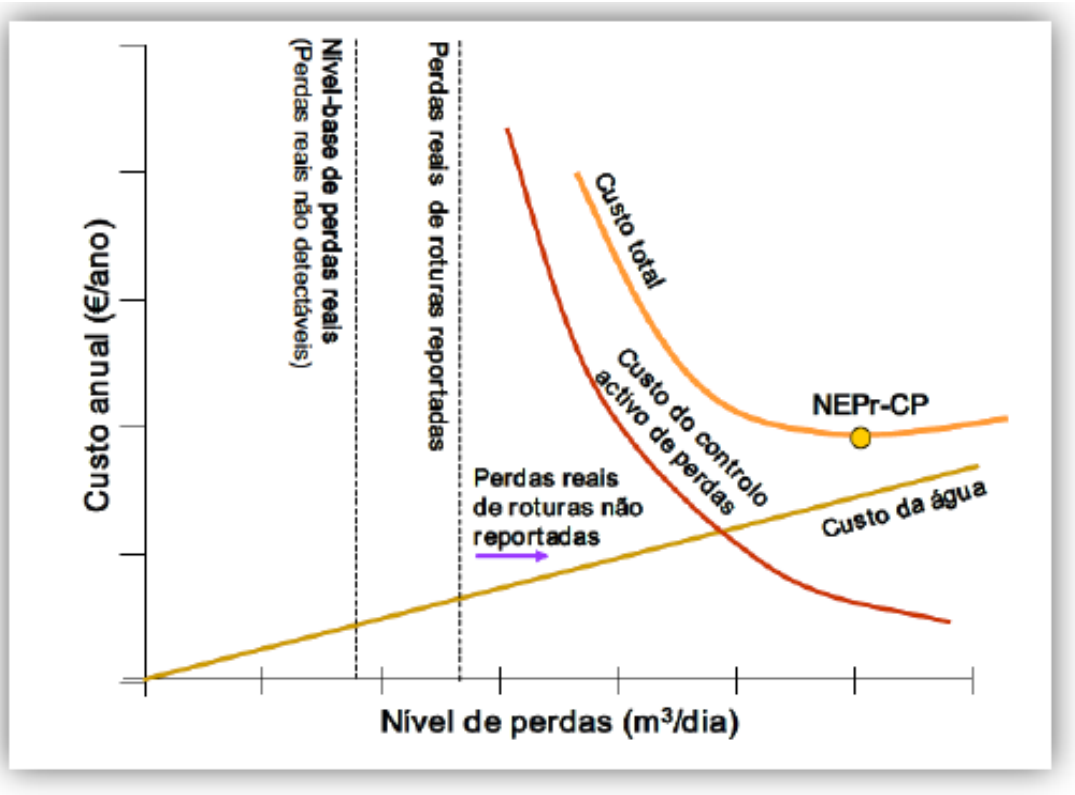

Figura 2.3.11 - Nível económico de perdas reais (Alegre et al., 2005)

2.4. Fases de desenvolvimento de entidades gestoras

De acordo com as medidas implementadas e dos recursos utilizados nas empresas gestoras na redução das perdas de água, existem quatro fases distintas e sequenciais (Figura 2.4.1) que classificam as mesmas quanto ao seu nível de desenvolvimento e qualidade na gestão dos seus serviços (Martins, 2014).

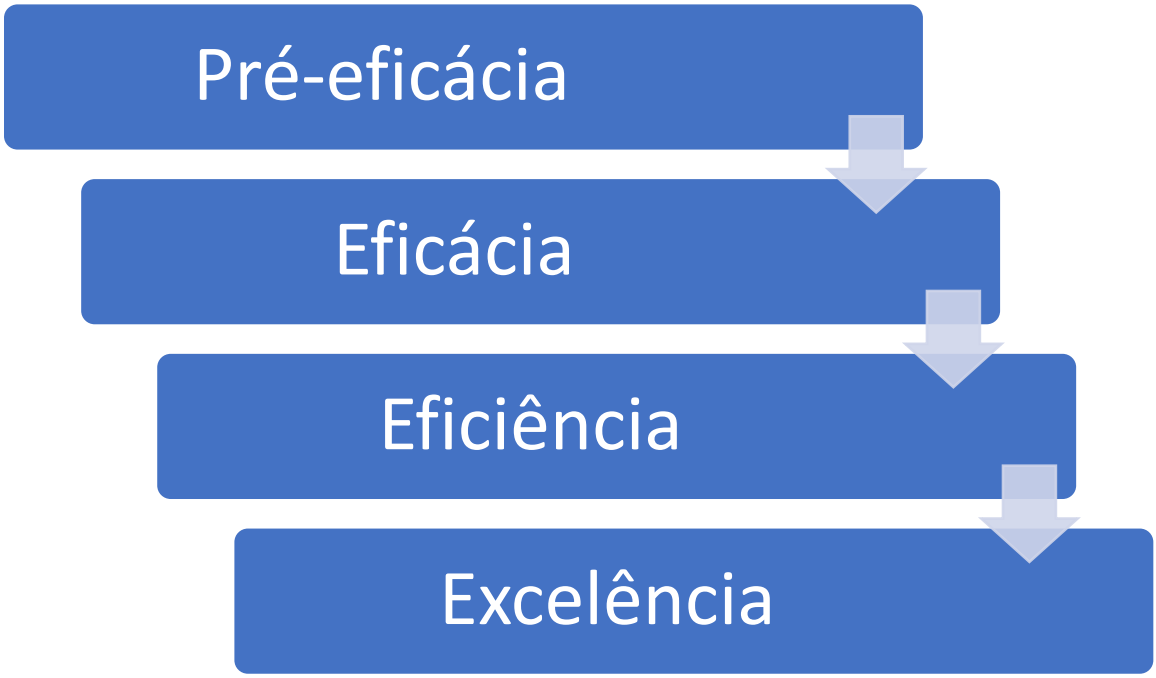

Figura 2.4.1 - Fases de desenvolvimento de uma entidade gestora (adaptado de Martins, 2014).

Com base no mesmo autor, o nível de Pré-eficácia representa as entidades gestoras que são muito pouco eficazes quer na disponibilização de um serviço de qualidade quer no controlo das perdas de água. A nível da Eficácia já são incluídas as entidades que conseguem atingir de forma aceitável os seus principais objetivos, mas com grande esforço ou uso excessivo de recursos. Este nível reflete ainda as entidades que, em geral, já fazem uma gestão mais controlada das perdas e atuam no sentido de ativamente as reduzir. O nível de Eficiência engloba as entidades que já integram graus elevados de qualidade em várias valências, incluindo na redução das perdas. Esta fase é ainda caracterizada por uma constante busca de melhorias e aperfeiçoamento de metodologias existentes. Finalmente o nível de Excelência, representa um estado inatingível de perfeição, mas que serve apenas de modelo de meta para todas as entidades gestoras.

2.5. Monitorização e controlo de perdas

2.5.1. Requisitos mínimos

Para uma correta e eficiente monitorização e controlo de perdas é pressuposta a existência de um conjunto base de ferramentas que auxiliam na tomada de decisões e que garantem um nível superior de qualidade nos resultados. Entre estas ferramentas estão presentes o sistema de Informação Geográfica (SIG), o Sistema de Informação de Gestão de Clientes (SIGC), o Modelo Digital do Terreno e o Modelo hidráulico do sistema (Sardinha et al., 2017). Apesar destas

ferramentas não possuir um carácter obrigatório para uma gestão aceitável e otimizada, demonstram ser uma mais-valia no acesso rápido a informação de qualidade.

2.5.1.1. Sistema de Informação Geográfica

O Sistema de Informação Geográfica trata-se de uma aplicação informática de disponibilização do cadastro das infraestruturas, incluindo a respetiva georreferenciação (Sardinha et al., 2017). Esta ferramenta permite criar uma base de dados de vários dos diferentes componentes ou características da rede e associá-los a uma localização definida. Segundo os mesmos autores, entre os componentes e características geralmente presentes, encontram-se as condutas, os grupos elevatórios, as válvulas, os reservatórios, os ramais de ligação, os medidos de caudal e contadores, os hidrantes e as Zonas de Medição e Controlo. Tendo toda esta informação devidamente organizada e rapidamente acessível, permite uma visualização mais abrangente e completa na área onde se pretende atuar.

2.5.1.2. Sistema de Informação de Gestão de Clientes

Ao mesmo tempo, o Sistema de Informação de Gestão de Clientes (SIGC) corresponde ao sistema responsável por armazenar todas as informações e dados relativos ao consumidor. Para além desta função, deverá ser versátil e intuitivo na ótica de utilizador de modo a permitir tratar e gerar informação de qualidade quando solicitada. Segundo Sardinha et al. (2017), destacam-se quatro aspetos importantes sobre os quais os SIGC devem focar. Estes devem ser capazes de ter conhecimento absoluto sobre a localização dos ramais de todos os clientes, fazer uma correta gestão do parque de contadores, integrar um módulo de gestão de leituras e faturação e conseguir gerar relatórios e indicadores de gestão. Vantagens adicionais surgem quando existe uma ponte de interligação com outros recursos e ferramentas como o SIG.

2.5.1.3. Modelo Hidráulico do Sistema

Outra ferramenta de extrema relevância na área de monitorização e controlo de perdas é o modelo hidráulico do sistema. Ter conhecimento de como a rede se comporta nas mais diversas situações em qualquer ponto é fundamental para prevenir ocorrências que resultem em perdas de água. Para além do mais, as redes estão constantemente a ser modificadas tanto a nível estrutural como funcional denotando-se assim a importância de manter os sistemas totalmente atualizados para o seu bom funcionamento. Outra vantagem resultante da implementação de um sistema informatizado deste tipo está presente na possibilidade de um controlo mais eficaz e eficiente na gestão das pressões que é um dos principais parâmetros associados a ocorrência de fugas ou avarias em condutas, traduzindo-se em perdas reais para o sistema.

Contudo, o modelo hidráulico do sistema pode ser difícil de implementar em redes pouco setorizadas sem informações claras sobre os diferentes pontos de consumo (Alegre et al., 2005).

2.5.1.4. Modelo Digital do Terreno

O modelo digital do terreno é um sistema que neste caso contem um levantamento altimétrico do terreno abrangido pela rede ou que de alguma forma afeta o seu funcionamento. Esta informação por si só não representa informação muito útil para a monitorização e controlo das perdas. No entanto, serve como base e é essencial para a modelação hidráulica do sistema que por sua vez terá um impacto significativo na gestão das perdas.

2.5.2. Medição do caudal

Como princípio, se o objetivo é supervisionar todos os volumes de entrada e saída, torna-se indispensável assegurar que as medições dos caudais sejam feitas com qualidade e em pontos estratégicos na rede. Quanto mais rigorosos os equipamentos de medição, melhor e mais fiável será as informações obtidas.

Uma das formas de medição dos consumos é o contador, cuja origem remonta à antiguidade, tendo surgido com o intuito de contar o número de vezes de enchimento de um volume. Os primeiros contadores foram os volumétricos, que foram alvo de diversas mudanças, passando por contadores tipo turbina até contadores eletrónicos, sem peças móveis (Alves et al., 1999).

Os contadores são formados por diversas peças: corpo do contador (parte exterior e o revestimento); medidor (transforma a passagem de água em movimento de rotação, sendo passível de medição de volume que se encontra no interior do contador); câmara volumétrica (1 ou mais andares de redução que permitem diminuir a velocidade de rotação do medidor); placa de separação (divide as zonas molhadas e secas do contador); eixo de transmissão (garante a passagem do movimento de rotação entre as zonas molhadas e secas do contador); totalizador (transforma movimento de rotação em unidade de volume) (ERSAR, 2013).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 291/90, de 20 de setembro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 71/2011, de 16 de junho), os contadores devem apresentar a marcação CE, que indica a conformidade de um produto a nível europeu, pelo que pode circular livremente no mercado interno.

Após a instalação dos contadores, a entidade gestora deve realizar o controlo metrológico, através de inspeções periódicas e extraordinárias (Portaria n.º 962/90, de 9 de outubro e Portaria n.º 21/2007, de 5 de janeiro).

Assim, importa diferenciar os diversos tipos de contadores existentes.

2.5.2.1. Contadores volumétricos

Estes contadores correspondem ao método mais detalhado de medir caudais de água em pressão, ou seja, medem o volume de água que se escoa durante um determinado tempo, através do qual se obtém o caudal médio (Lencastre, 1996).

São caracterizados por apresentarem medições mais exatas para pequenos caudais; terem o filtro facilmente entupido devido à existência de impurezas na água; frequentemente utilizado na medição de consumos domésticos; serem mais suscetíveis a erros de medição negativa (Arregui et al., 2005). A norma que regula este tipo de contadores é a ISO 4064 *4064Measurement of water flow in closed conduits – Meter for cold portable water – Part I, II e III*.

Quanto à sua tipologia, existem dois tipos de contadores volumétricos: pistão rotativo e disco nutante. Os contadores de pistão rotativo são mais antigos, estando o fluxo dividido em êmbolos de volume que giram dentro de uma câmara cilíndrica. Por sua vez, os discos nutantes possuem uma câmara com formato esférico que contém um disco no interior que se movimenta com a passagem da água e se converte no volume consumido.

2.5.2.2. Contadores velocimétricos

Estes contadores são os mais utilizados nos parques de contadores. São turbinas estimuladas pela velocidade da água, fazendo a medição da velocidade com que a água passa no contador, através de contagem indireta (Alves et al., 1999). A norma que regula este tipo de contadores é a ISO 4064 *4064Measurement of water flow in closed conduits – Meter for cold portable water – Part I, II e III*.

Quanto à sua tipologia, estes contadores podem ser mecânicos ou não mecânicos: monojacto, multijacto e hélice (Woltmann). A tipologia multijacto foi a primeira a ser concebida e caracteriza-se pela sua qualidade de medição depender do kit de medição e não do revestimento, ou seja, o kit de medição pode ser alterado sem que exista a remoção do contador, o que o torna mais fácil e menos oneroso na sua substituição, assim como, na sua durabilidade e resistência (Alves et al., 1999).

Na tipologia monojacto, a contagem é realizada de forma indireta, através da passagem de água pela turbina, que ao longo do tempo vai diminuindo o diâmetro do orifício de passagem de água, o que pode lesar os clientes. A sua utilização deve ser realizada em locais onde a água seja portadora de materiais descartáveis.

A tipologia de hélice (Woltmann) caracteriza-se por apresentar uma baixa perda de carga que causa o escoamento e a resistência a caudais maiores, assim como, não apresentarem erros de medição que lesem os clientes e encontrarem-se maioritariamente em clientes com grandes

consumos. Contudo, são onerosos, sensíveis a sólidos na água e têm um elevado peso e volume (Arregui et al., 2006). Podem ser de eixo horizontal (facilidade de escoamento) ou vertical (escoamento com turbulência).

2.5.2.3. Caudalímetros

Para além dos contadores, também existem outros instrumentos de medição de consumos, onde se destacam os caudalímetros, que podem ser eletromagnéticos (Figura 2.5.1), ultrassónicos (Figura 2.5.2) ou deprimogéneos (Figura 2.5.3). Os caudalímetros são mais exatos e causam menor perda de carga face aos contadores tradicionais, apesar de serem mais onerosos e carecerem de instalação de um totalizador (Henriques et al., 2006).

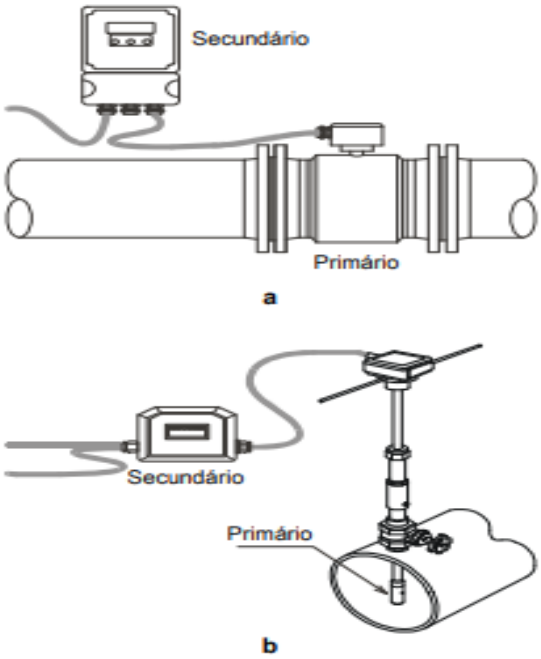

Figura 2.5.1 - Constituição de um caudalímetro electromagnético: a) tubular; b) de inserção (Henriques et al., 2006).

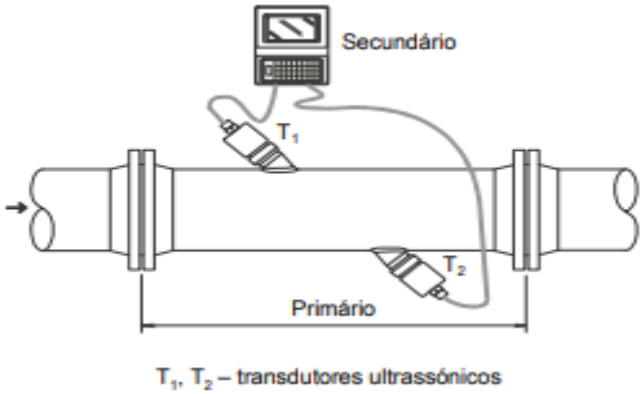

Figura 2.5.2 - Constituição de um caudalímetro ultrassónico (Henriques et al., 2006).

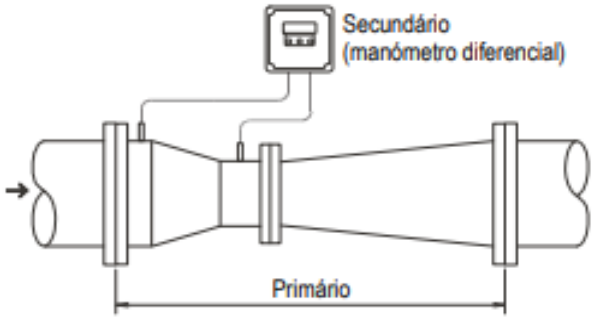

Figura 2.5.3 - Constituição de um caudalímetro deprimogéneo (Henriques et al., 2006)

2.5.2.4. Erros associados à medição

Os erros verificados na medição de consumo de água são diferentes consoante diversos fatores, tais como a dimensão dos caudais, onde os erros são maiores e mais sensíveis aos aspetos externos nos caudais mais baixos, comparativamente aos caudais médios ou elevados. Esta situação pode acontecer devido à posição de montagem dos contadores, levando ao aumento da fricção entre as peças móveis, a uma maior degradação e ao aumento dos encargos económicos referentes à manutenção/substituição. Também pode ocorrer devido aos sólidos suspensos e depósitos; fugas e reservatórios domiciliários; bloqueios parciais do filtro de entrada, sobretudo nos contadores tipo monojacto (Arregui et al., 2005).

Na Figura 2.5.4 verifica-se um contador com acumulação de calcário, o que torna difícil o rolamento das peças móveis ou o bloqueio do contador, nomeadamente nos caudais mais baixos (Arregui et al., 2005).



Figura 2.5.4 - Contador com acumulação de calcário (Arregui et al., 2005)

Outros fatores que influenciam os erros na medição são os padrões de consumo dos clientes e as curvas de erros de cada contador. Os padrões de consumo são influenciados pela variação do consumo de água (sazonal ou diária), assim como, pelas alterações resultantes da medição e *data loggers* ou pela ineficiente seleção da amostra (Arregui et al., 2005).

De modo geral, os erros na medição de consumo de água podem dever-se à existência de erros humanos ou ao consumo não autorizado. No que se refere aos erros humanos, estes acontecem por inúmeros motivos, onde se destacam o estado de conservação do contador; dificuldade em aceder ao local onde se encontra o contador; leitura desadequada dos contadores; má-fé por parte de alguns clientes na disponibilização da leitura do consumo, entre outros (Arregui et al., 2006; Farley et al., 2008). Quanto ao consumo não autorizado, este pode ocorrer devido a furtos de água, quando o cliente realiza uma ligação à rede sem autorização; manipulação ou violação do contador; consumo direto dos hidrantes e redes prediais de combate a incêndios (Fantozzi et al., 2008).

Na Figura 2.5.5 é visível a realização de uma ligação clandestina, onde a água é consumida de forma direta da rede de distribuição, existindo sobretudo em áreas de abastecimento pouco urbanizadas (Pereira, 2007).



Figura 2.5.5 - Ligação clandestina (CESDA, 2017)

Na Figura 2.5.6 verifica-se a realização de uma ligação por *bypass*, onde a água consumida não passa pelo contador, mas sim por uma tubagem paralela. Esta ilegalidade não é tão percetível como a ligação clandestina, sobretudo se for realizada durante o primeiro mês de abastecimento, pois, cria junto da entidade gestora um consumo que não reflete a realidade (Pereira, 2007).



Figura 2.5.6 - Ligação bypass (CESDA, 2017)

Na Figura 2.5.7 afere-se a violação/manipulação de um contador, que pode ser realizada através da introdução de dispositivos metálicos que bloqueiam a leitura do contador, o totalizador ou a quebra do lacre (CESDA, 2017).



Figura 2.5.7 - Exemplos de contadores adulterados (CESDA, 2017).

2.5.2.5. Medidas de combate aos erros de medição

Uma das medidas de combate aos erros de medição passa pela leitura de consumos realizada de forma eficiente e fiável, com frequência mensal, bimestral ou semestral (Loureiro et al., 2007).

Nesse sentido, surgem os sistemas de telemetria domiciliária (STD), que contribuem para a recolha de dados de consumo, automaticamente, preservando-os numa base de dados central, que se encontra ligada a sistemas de faturação e de gestão de clientes. Assim, torna-se mais fácil o

cálculo de balanços hídricos, a definição de sistemas de tarifas e a obtenção de padrões de consumo (Loureiro et al., 2007).

Para além destas vantagens dos STD, Medeiros et al. (2007) acrescentam a valorização dos colaboradores afetos à esta tarefa; implementação da segmentação de políticas tarifárias através de sazonalidade ou períodos noturnos; integração com todos os setores das entidades gestoras.

Contudo, também existem algumas limitações na utilização dos STD que as entidades gestoras devem ultrapassar, tais como: necessidade de um sistema de faturação e de gestão de clientes; disponibilizar formação aos futuros operadores; gestão e manutenção de infraestruturas de recolha, transmissão e armazenamento de informação; renovação do parque de contadores; elaboração de uma análise custo/benefício; operação com sistemas de processamento e análise dos dados de consumo (Loureiro et al., 2007; Medeiros et al., 2007).

Relativamente ao consumo não autorizado, este pode ser atenuado ou evitado através da fiscalização ao local de consumo, onde podem ser realizados testes na rede. Estes testes englobam a retirada do contador e a verificação da existência de retorno de água no cliente, ou a realização de videoscopia, onde é observado visualmente o ramal e a provável existência de alguma ilegalidade antes do contador (CESDA, 2017).

Na 2.5.8 é visível um videoscópio, onde através da inserção de uma sonda com uma pequena câmara, no interior do ramal, possibilita a captação e reprodução de imagens do ramal, sobretudo de consumos não autorizados (CESDA, 2017).

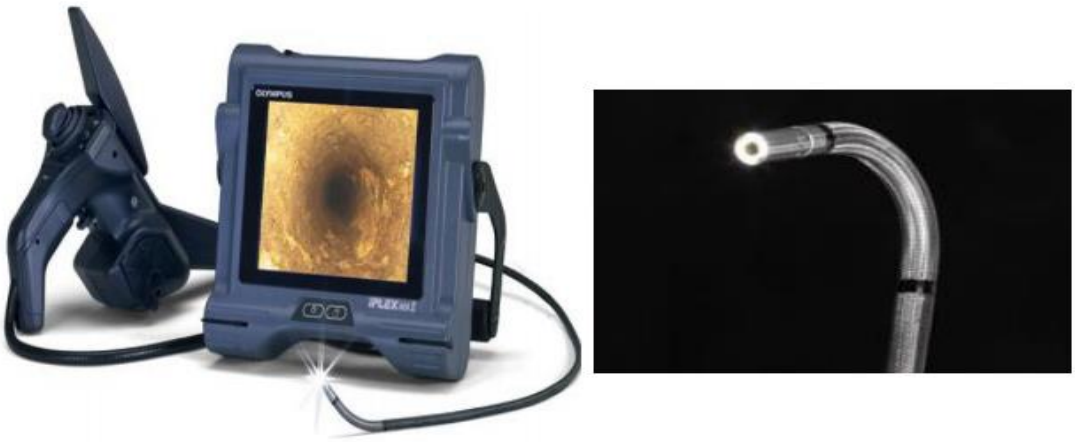

Figura 2.5.8 – Videoscópio (CESDA, 2017).

2.5.3. Setorização da rede

As primeiras referências a uma estratégia de setorização de rede com vista a uma monitorização mais atenta foram reportadas na passada década dos anos 80, no Reino Unido (Sardinha et al.,

2017). Hoje em dia, trata-se de um método praticamente usado em qualquer entidade gestora. Ao dividir a rede em zonas mais pequenas, permite um controlo mais competente sobre as ocorrências no local. Estas subdivisões facilitam assim a identificação de problemas na rede e proporcionam uma atuação mais ágil e diligente nas intervenções necessárias. São vários os fatores que podem influenciar a definição de uma destas subdivisões ou também denominada Zonas de Medição e Controlo (ZMC). Entre eles podem ser considerados: fatores geográficos/demográficos, técnicas de controlo de fugas disponíveis ou aplicadas, condições hidráulicas, tipo de material ou idade de condutas (Sardinha et al, 2017).

2.6. Estratégias de redução de perdas

Os mecanismos de combate às perdas de água são pautados por políticas implementadas pelos países, agências governamentais ou entidades gestoras (Sardinha et al., 2017).

Estas políticas podem ser aplicadas no âmbito internacional e nacional. A nível internacional, evidenciam-se os relatórios sobre gestão de fugas (*United Kingdom Water Industry Research*), que consiste no conjunto de metodologias baseadas na compreensão, mensuração e diminuição das perdas nas redes de distribuição (Sardinha et al., 2017). Também se destaca a International Water Association, organização sem fins lucrativos, cujo objetivo passa por analisar todas as fases do ciclo de água, que contribui para a investigação e desenvolvimento de práticas para a gestão sustentável da água.

No âmbito nacional, para além da legislação mencionada anteriormente, também é de realçar a Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, que aprova o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA). Com o PNUEA pretende-se implementar a abordagem do desenvolvimento sustentável no consumo de água, baseando-se para isso em quatro vertentes: a) medição e reconversão de equipamentos de utilização na água; b) sensibilização, informação e educação; c) regulamentação e normalização; d) formação e apoio técnico.

Quanto mais desenvolvido for o país e as primazias políticas, maior conscientização ambiental, nível empresarial das entidades gestoras e atitudes sustentáveis por parte dos indivíduos, maior a eficiência da implementação das políticas para a diminuição e controlo das perdas de água (Sardinha et al., 2017).

Na Figura 2.6.1 apresenta-se um conjunto de estratégias que visam a diminuição de perdas de água, segundo Sardinha et al. (2017):

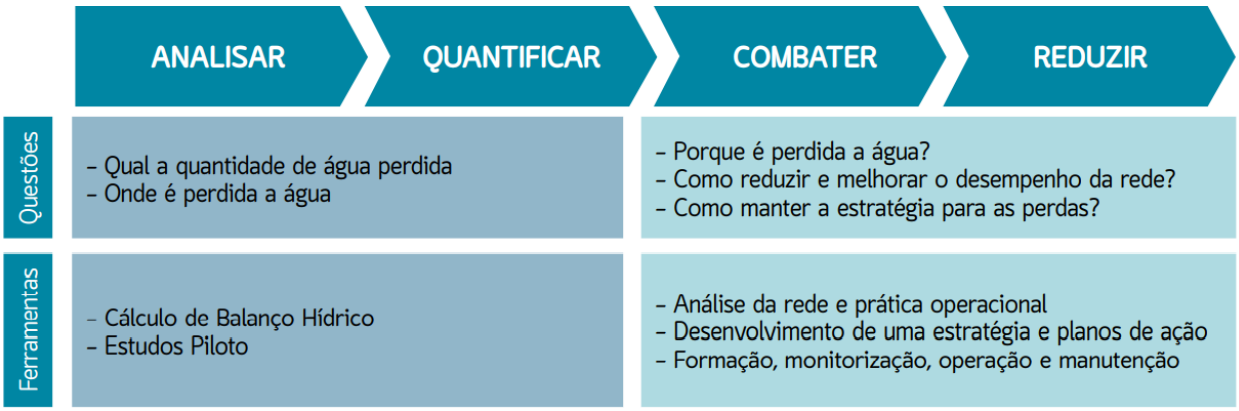

Figura 2.6.1 - Estratégia de diminuição de perdas de água (Sardinha et al, 2017).

De acordo com a Figura 2.6.1, a estratégia inicia-se com a análise e culmina com a diminuição das perdas de água. Para isso, as ferramentas necessárias são o balanço hídrico e estudos pilotos, que irão contribuir para a análise da rede e prática operacional, desenvolvimento de estratégia e planos de ação ou para a formação, controlo, operação e manutenção (Sardinha et al., 2017).

Para além destas estratégias, também se deve proceder de forma frequente à substituição dos parques de contadores, devendo a entidades gestoras basear-se na análise de custo/benefício, no estado de conservação do contador, no custo de substituição ou no preço da água (Fantozzi et al., 2008).

Estas estratégias devem ser desenvolvidas por uma equipa formada por membros de cada departamento operacional (distribuição, produção, atendimento ao cliente, financeiro, compras e recursos humanos), pois dessa forma, a estratégia terá diversos contributos que a tornarão mais útil e valiosa. Também devem ser definidos os alvos da diminuição das perdas de água; privilegiados os componentes do balaço hídrico que sejam mais eficientes e económicos; assumir comportamentos de conscientização, localização e reparação, ou seja, o tempo para que as entidades gestoras saibam da ocorrência, o tempo para localizar as perdas de água e o tempo de reparação; orçamento, que deverá englobar custos com pessoal (técnicos, pessoal do departamento de compras, etc.), equipamentos (medidores, equipamento de deteção de perdas de água, etc.), veículos, obras (custos de instalação dos equipamentos, custos de deteção e reparação das perdas de água) (Farley et al., 2008).

Em suma, quanto maior a implementação de mecanismos de combate às perdas de água, maior a eficiência na gestão, nomeadamente, na diminuição de custos de operação e de capitais, assim como, menor stress ecológico, menor dano nas infraestruturas, menor carga nos esgotos, menor risco para a saúde, logo, melhor qualidade de serviço, maior a satisfação dos clientes e melhor medição e faturação (Sardinha et al., 2017).

3. ÂMBITO E OBJETIVOS

3.1. Âmbito

Atualmente e cada vez mais nota-se uma crescente preocupação no sentido de proteger um dos bens essenciais à vida – a água. Esta preocupação está, como é obvio, mais presente em empresas ligadas a esse setor. A preocupação surge não só do ponto de vista ambiental como também do ponto de vista financeiro e económico. Com base na revisão bibliográfica, verifica-se que, de facto, esta preocupação tem levado a diversos estudos no sentido de redução das perdas de água. Contudo, esta preocupação não é partilhada ainda por todas as empresas gestoras no setor por diversos motivos, principalmente por falta de recursos económicos.

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial, na Penafiel Verde E.M. com o intuito de satisfazer as solicitações da empresa referente a uma determinada zona de medição e controlo e adquirir uma visão mais completa e detalhada face a esta temática na zona indicada. Dada a importância debitada na potencial redução de perdas de água no sistema de distribuição da empresa acolhedora, foi sugerido o estudo de uma zona onde ocorreu, em maio de 2020, uma forte mobilização de recursos nesse sentido. Sendo assim, foi relevante para a empresa perceber que resultados foram obtidos e, não só se a abordagem foi adequada, mas também como pode ser melhorada para aplicar em outras zonas futuramente.

De uma forma geral, este estudo reflete de forma expositiva as abordagens face à gestão e redução de perdas totais (aparentes e reais) de água nos sistemas de distribuição na Penafiel Verde, E.M.. Para além disto é apresentado o método que foi utilizado para permitir verificar os resultados de forma expedita.

3.2. Objetivos específicos

Dadas as indicações da empresa, foram definidos os objetivos de modo a apurar a eficácia e os resultados face ao propósito das intervenções.

- Rever e compilar as informações mais atuais e em prática sobre a temática de como abordar as perdas de água em sistemas de distribuição
- Integrar e perceber o contexto da empresa face à gestão e práticas aplicadas na gestão e combate às perdas de água
- Recolher todas as informações e dados disponíveis relevantes face à zona de medição e controlo em estudo
- Manipular, calcular e analisar os dados existentes de modo a aplicar as técnicas de análise de perdas de água – balanço hídrico
- Comparar resultados antes e depois da abordagem posta em prática pela empresa
- Definir estratégias de melhoria e recomendações

4. CASO DE ESTUDO – PENAFIEL VERDE, E.M.

4.1. A empresa

Fundada a 1 de agosto de 2006, a Penafiel Verde E.M. é uma empresa municipal, responsável pela construção, exploração e gestão dos sistemas municipais de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais do concelho de Penafiel, tendo a Câmara Municipal de Penafiel (CMP) como seu único acionista. Atualmente, apenas esta empresa assegura este tipo de serviços, neste Concelho em que das 28 freguesias existentes, 24 são totalmente rurais, num total de 72 258 habitantes (Penafiel Verde E.M., 2020b).

Enquanto prestadora de serviços que funciona sem interrupções, insere-se na categoria das empresas 365/24, isto é, necessita de recursos humanos a operar durante 24h por dia, nos 365 dias do ano. Em consequência da criticidade da manutenção dos seus serviços, empenha-se em garantir condições de eficácia e segurança aos seus trabalhadores, sobretudo nas condições logísticas, orçamentais e técnicas para exercerem as suas funções assentes numa política de incentivo à produtividade e à constante e contínua formação pessoal e profissional (Penafiel Verde E.M., 2020b).

A 31 de dezembro de 2019, o quadro de pessoal da empresa era constituído por 57 colaboradores, em que 16 têm contacto direto com os clientes, e os restantes desempenham atividades técnicas ou de suporte à organização (Penafiel Verde E.M., 2020b).

Seguidamente, apresenta-se o organograma da empresa (Figura 4.1.1).

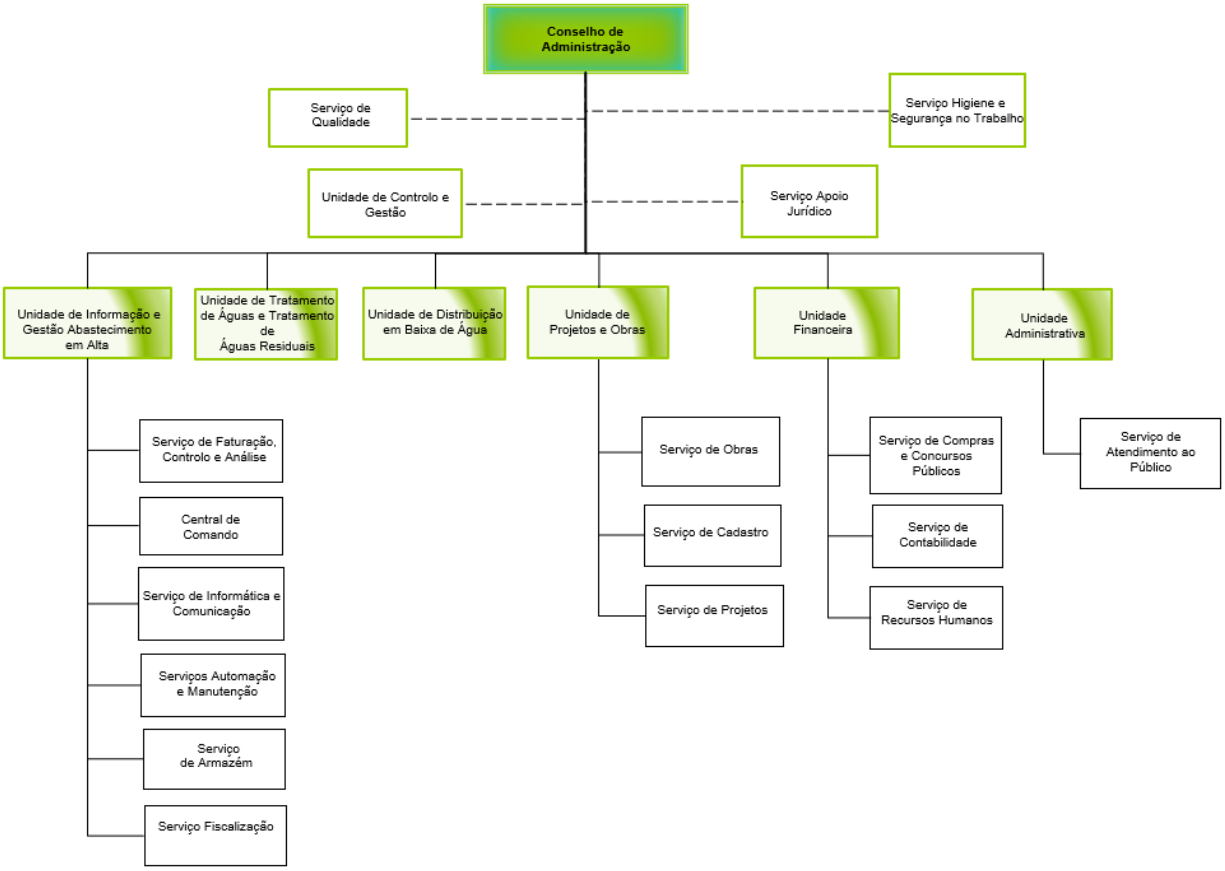

Figura 4.1.1 - Organograma da Penafiel Verde E.M (Penafiel Verde, 2020a).

4.2. A zona em estudo

4.2.1. Localização

Atualmente, o reservatório da Central é responsável por abastecer toda a população das antigas freguesias de Novelas e Santiago da Subarrifana, parte da freguesia de Penafiel e ainda parte da freguesia de Guilhufe (Figura 4.2.1). Oficialmente, Novelas e Santiago da Subarrifana foram, entretanto, unidas à freguesia de Penafiel passando a região a ser uma só freguesia. A atual freguesia de Guilhufe e Urro correspondeu também à união de ambas as freguesias (Figura 4.2.2). No entanto, os seus nomes são ainda utilizados regularmente. A rede localiza-se, portanto, na zona noroeste do concelho de Penafiel no distrito do Porto (Figura 4.2.3). Em termos de relevo, a maior parte da rede encontra-se numa zona pouco acidentada. Apenas a parte referente à antiga freguesia de Penafiel é que situa num local de maior declive face à localização da cidade de Penafiel numa colina. Só em Penafiel existem ainda outros 2 reservatórios que abastecem outras partes da freguesia devido à sua posição estratégica mais elevada.

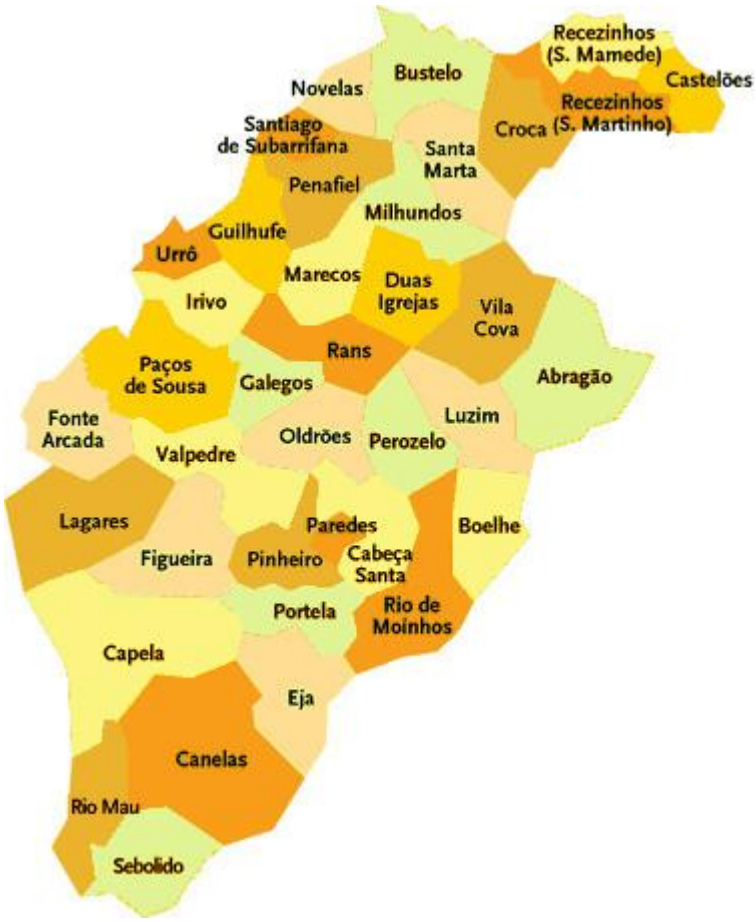

Figura 4.2.1 - Concelho de Penafiel dividido pelas antigas freguesias constituintes (Geneall, 2000).



Figura 4.2.2 - Concelho de Penafiel dividido pelas atuais freguesias constituintes (Câmara Municipal de Penafiel, 2017).

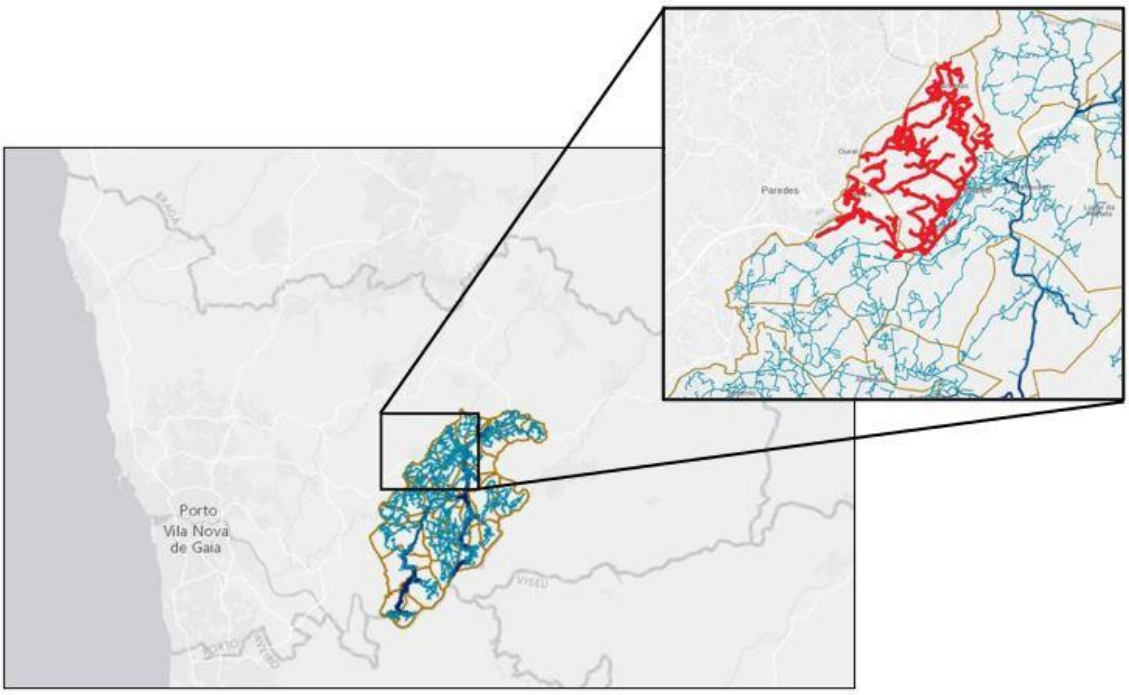

Figura 4.2.3 - Localização geográfica do concelho de Penafiel com a rede de adução e distribuição representada (na aproximação, a vermelho está destacada a rede de distribuição correspondente à ZMC em estudo).

4.2.2. Cadastro

No momento de realização deste estudo, o cadastro da rede encontrava-se a ser atualizado para o Sistema de Informação Geográfica da empresa. Nele é possível conferir a rede de distribuição e componentes estruturais associados ao tratamento, adução e distribuição de água no concelho. No entanto, como se trata de um projeto em andamento, o cadastro não está completo ou finalizado. Como base para essa transferência de informação da rede, existem cadastros anteriores acessíveis por dados de mapa em *software* como o *AutoCAD* e o *Google Earth*.

Após análise do ficheiro referente presente no *Google Earth*, torna-se evidente alguma falta de organização e gestão da informação fruto da falta de agrupamento de certos elementos ou até mesmo falta de nomear ou classificar elementos adicionados que por sua vez dificulta a sua leitura e análise quando se pretende seccionar zonas.

Quanto ao ficheiro *AutoCAD*, este já se encontrava mais sistematizada devido às designações percebíveis das camadas. Ainda assim, em nenhum dos cadastros é possível verificar as redes de distribuição isoladas e correspondentes a cada reservatório.

Adicionalmente, verificou-se que os clientes não se encontravam georreferenciados (projeto que se tenciona implementar no ano 2021).

Contudo, a versão atual do Sistema de Informação Geográfica apresenta-se muito mais organizada e de fácil interação, sendo que, até é capaz de produzir indicadores sobre a rede de abastecimento de água (Figura 4.2.4). Estes indicadores podem ser calculados para as diferentes freguesias.



Figura 4.2.4 - Indicadores de Rede de Abastecimento de Água calculados pelo SIG da empresa referentes a toda a toda a rede.

4.2.3. Características

Infelizmente, no que se refere as características relativas à rede de distribuição em estudo, o sistema ainda não é capaz de fornecer todos aqueles indicadores para a ZMC em questão pois estas não se encontram definidas no SIG. Contudo é possível fazer uma estimativa com base nos cadastros anteriores e nos indicadores das freguesias que compõem a zona da rede associada ao reservatório da Central.

Com base no cadastro, a extensão da rede rondará os 51km relativamente as condutas de distribuição. A nível de ramais, foram contabilizados 1151 ramais com uma extensão média de 5,6 metros. Note-se que estes dados tiverem que ser estimados com base nas informações dos cadastros existentes. Assim que as ZMCs forem devidamente implementas e definidas no cadastro, estes dados podem ser adquiridos com mais exatidão, automaticamente, considerando que os levantamentos foram efetuados corretamente e são atualizados frequentemente.

4.2.4. Reservatório

O reservatório da Central é abastecido pelo reservatório do Sameiro que está à cota de 343 metros. O reservatório da Central que está à cota de 300 metros e que tem uma capacidade de 100 m^3 abastece por sua vez o reservatório Tenente Valadim à cota de 248 metros. Para além disso, abastece toda a rede de distribuição nas freguesias que se referiu anteriormente (Figura 4.2.5). Á saída do reservatório existe um medidor de caudal que regista em telemetria o caudal de saída para distribuição em metros cúbicos por hora.

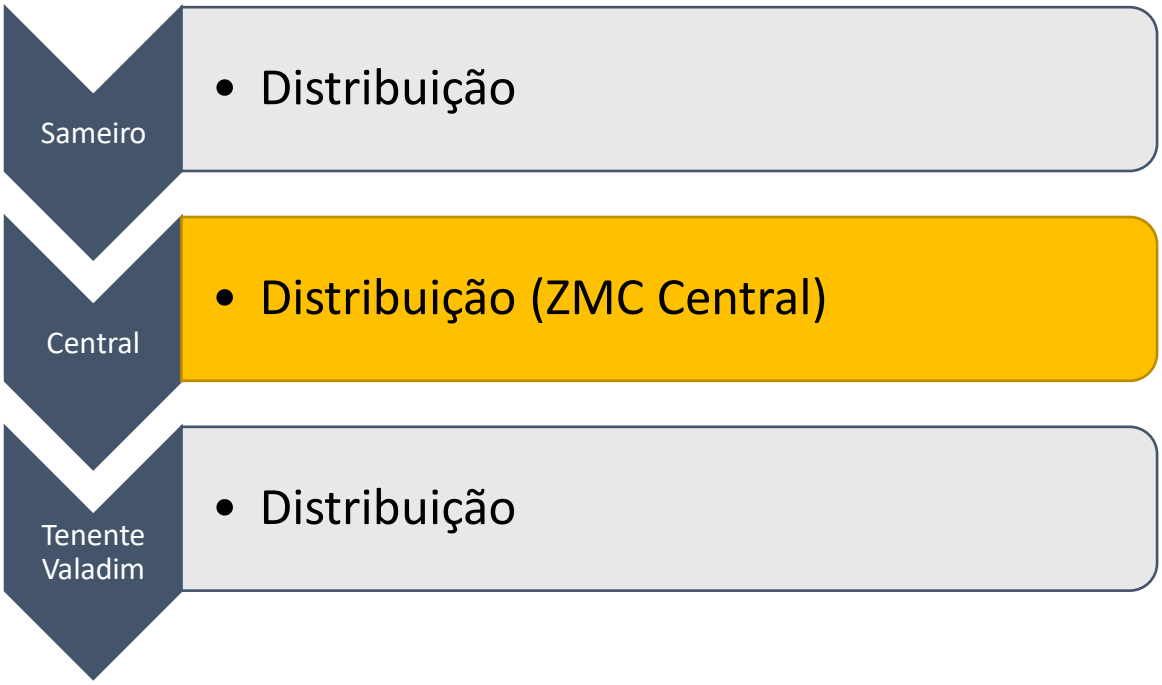

Figura 4.2.5 - Representação funcional da rede envolvente ao ponto de estudo (a distribuição destacada a amarelo corresponde à rede em estudo que por sua vez corresponde à ZMC da Central).

4.2.5. Os dados

A empresa usa o SIGMA – Sistema Integrado de Gestão Municipal em ambiente Windows e em plataforma *.Net* como aplicação de *backoffice* para fazer a gestão das águas, sistemas de informação para autarquias disponibilizados pela *Medidata*.

Numa fase inicial foi imediatamente referido que existia uma dificuldade acrescida para aceder a base de dados. O facto de não ser possível aceder diretamente à base de dados dificultou o processo de manipulação e cruzamento de dados, nomeadamente para comparar com valores históricos da rede. Para além disso, a base de dados não se encontra devidamente atualizada e em

conformidade com as ZMCs definidas. Aquando do registo de um cliente, este é associado manualmente a uma rede de distribuição de um determinado reservatório por um determinado funcionário. Contudo, eventualmente foram necessárias alterações nas estruturas das redes e quando estas ocorriam, a base de dados dos clientes não era atualizada.

4.3. A abordagem da empresa face às perdas

No que toca as perdas de água, a empresa tem á sua disponibilidade uma equipa liderada por um engenheiro civil que diariamente e sempre que possível, atribui tarefas aos técnicos no sentido de atuar na zona mais crítica. Para isso, foi criada, anteriormente, uma base de dados com os valores mínimos dos caudais noturnos em todas as zonas de medição existentes. Estes valores mínimos registados funcionam como os valores de referência para os quais, diariamente, a equipa tenta reverter caso haja aumentos significativos.

Para além disso, é feita uma macro análise muito simplificada com base nos volumes de entrada na rede e os volumes de saída faturados, produzindo assim a componente de água não faturada no balanço hídrico. Apesar de não ser ideal, este componente do balanço hídrico já é capaz de fornecer uma ideia acerca dos volumes de perdas de água no sistema. A uma escala de tempo mais alargada, nomeadamente mensal, a equipa tenta reduzir o nível de água não faturada para os 30%, isto face ao volume total de entrada em todo o sistema.

Quanto á zona em questão, foi referido que já no final de 2019, foi proposto pela empresa a atuação com vista ao combate das perdas de água na ZMC da Central. No entanto, devido a dificuldades em outras zonas do sistema só foi possível desviar todos os recursos em abril de 2020. Esta proposta surgiu porque estavam a ser registados vários casos de avarias em condutas na antiga freguesia de Novelas. A partir desta informação, iniciou-se um processo de pesquisa ativa de perdas pelo método de sondagem acústica. Paralelamente, existiam algumas reclamações relativas à pressão da água de alguns pontos da zona pelo que também foi necessário fazer alguns ajustes numa das válvulas redutoras de pressão desta zona de medição. Para além disto, achou-se pertinente a substituição de cerca de 350 contadores domésticos.

- Balanço Hídrico

Anualmente, são preenchidos e submetidos os dados para a ERSAR que por sua vez faz uma análise mais criteriosa dos dados fornecidos e classifica a empresa relativamente aos indicadores que a própria ERSAR utiliza. Nesse preenchimento, faz-se uma análise mais atenta aos dados existentes de modo a estimar mais acertadamente os diferentes componentes do balanço hídrico

através de uma abordagem *Top Down*. A forma como a empresa calcula e estima os diferentes componentes apresentam-se seguidamente.

Componentes do balanço hídrico

- Consumo autorizado faturado medido

O consumo faturado e medido considera praticamente todos os tipos de consumidores da empresa sendo eles, domésticos, comércio/serviços, condomínios, indústria, estado, instituições, juntas, município, provisórios/avulso e ainda certas bocas de incêndio onde existe faturação associada.

- Consumo autorizado faturado não medido

Este consumo corresponde aos consumos dos utilizadores que por algum motivo excecional não foram medidos. Desta forma, os consumos faturados são calculados com base no histórico do consumo do cliente no mês anterior. Quando eventualmente é feita a leitura do contador, é feito o acerto na faturação. Sendo assim, e de forma a simplificar, esta parcela fica nula porque eventualmente toda o consumo faturado acaba por ser medido.

- Consumo autorizado não faturado medido

Nesta parcela são considerados os consumos da empresa e dos bombeiros (tanto nos quartéis como nas restantes bocas de incêndio). Este consumo medido pelos bombeiros foi conseguido através de uma parceria com a empresa em que foi acordado que sempre que é usada água para encher tanques ou camiões de serviço, estes fazem um registo manual da quantidade de água consumida e da localização (estes tipos de registos apenas acontecem durante o verão devido à utilidade da água no combate a incêndios da região). Nestes registos verificou-se que estes são pouco rigorosos em relação tanto à quantidade como à localização da recolha visto que por vezes apenas é mencionada uma localização de uma boca de incêndio e na verdade existem várias bocas de incêndio na região. Para além disto, quando se pretende fazer estas análises seccionadas por ZMCs as várias bocas de incendio deviam ser identificadas de forma a perceber a que rede está ligada (na mesma rua podem passar redes de distribuição diferentes, como acontece na freguesia de Penafiel que é abastecida por 3 diferentes reservatórios).

- Consumo autorizado não faturado não medido

Apesar da parceria e dos esforços dos bombeiros, dadas certas circunstâncias nem sempre é possível o registo destes consumos sendo que é feita uma estimativa de um consumo adicional para

além daquele que é registado. Nesta parcela, estima-se ainda a quantidade de água utilizada para descargas de condutas durante as avarias.

- Uso não autorizado

Na empresa, o uso não autorizado corresponde a uma estimativa baseada na quantidade de clientes que foram identificados com ligações clandestinas à rede ou com outro tipo consumo ilícito.

- Perdas de água por erros de medição

As perdas de água por erros de medição são estimadas de acordo com os erros associados aos resultados aferidos de 17 contadores. Estes resultados são extrapolados para a totalidade do parque de contadores.

- Perdas reais

Valor entre a diferença da água que entra no sistema e os componentes anteriormente mencionados.

- Perdas reais nas condutas de água bruta e no tratamento (quando aplicável)

Estima-se que este valor corresponde a 1% do valor total de perdas físicas.

- Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição

Estima-se que este valor corresponde a 42% do valor total de perdas físicas.

- Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução/distribuição

Estima-se que este valor corresponde a 2% do valor total de perdas físicas.

- Fugas nos ramais de ligação (a montante do ponto de medição)

Estima-se que este valor corresponde a 55% do valor total de perdas físicas.

Os componentes do balanço hídrico referente a 2019, estimado pela empresa observam-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Componentes principais do balanço hídrico submetido para a ERSAR referente ao ano de 2019.

Componente	Volume (m^3)	%
Consumo faturado medido	1994044	70,2%
Consumo faturado medido	0	0,0%
Consumo não faturado medido	5172	0,2%
Consumo não faturado não medido	3448	0,1%
Uso não autorizado	7285	0,3%
Erros de medição	35690	1,3%
Perdas reais	796499	28,0%

4.4. Metodologia

De uma forma geral, a presente dissertação foi desenvolvida em 5 etapas que se encontram apresentadas esquematicamente na Figura 4.4.1. De modo a alcançar os objetivos deste estudo, foi necessário adaptar as ferramentas disponíveis, nomeadamente, o balanço hídrico que geralmente é calculado numa escala temporal anual. Como as intervenções foram realizadas no ano da realização desta dissertação, a única forma de obter resultados mais rapidamente obrigava a uma análise a uma escala temporal mais curta, neste caso mensal pois foi considerada a mais adequada face aos dados de faturação mensais.

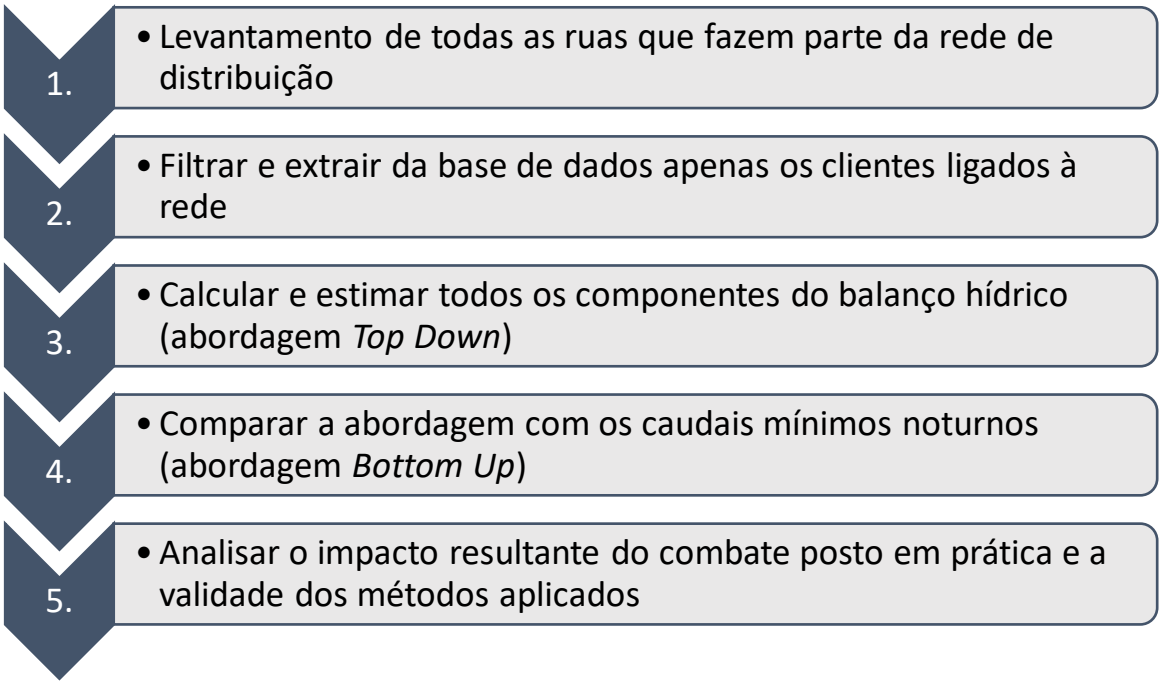

Figura 4.4.1 - Diagrama representativo das etapas consumadas ao longo deste estudo.

- Etapa 1

Inicialmente, com ajuda dos cadastros existentes e do Sistema de Informação Geográfico Municipal de Penafiel, fez-se um levantamento de todas as ruas onde existe rede de distribuição associada ao reservatório Central. No SIG Municipal encontrou-se a informação totalmente atualizada relativa aos nomes de todas as ruas que por sua vez facilitou a identificação das mesmas juntamente com o auxílio da equipa técnica.

- Etapa 2

Segundo a empresa, a rede de distribuição associada ao reservatório da Central, não sofreu qualquer alteração estrutural desde 2017. Como já foi mencionado, uma das principais dificuldades encontradas na recolha de dados dos clientes deveu-se ao facto da plataforma da gestão dos clientes não ser constantemente atualizada sempre que há alterações na rede, ou seja, clientes que, por exemplo, em 2016 estavam ligados a um outro reservatório, passaram a estar ligados ao da Central sem esta informação ser atualizada. Ao recolher os dados dos clientes associados ao reservatório em questão, acabou-se por ter clientes que na prática não estão ligados. Da mesma forma, acontece o inverso – clientes que estão ligados, mas que não aparecem no sistema por estarem associados a outro reservatório. Apesar disto, a região sempre foi abastecida a partir de 3 reservatórios distintos: Central, Tenente Valadim ou Sameiro. Assim, foi necessário analisar e filtrar a lista total de clientes associados aos 3 reservatórios. Visto que a rede permaneceu inalterada desde 2017, não fazia sentido analisar os clientes que desistiram ou deixaram de ser clientes antes desse ano. Na filtração, o primeiro passo seria, portanto, remover todos os clientes que deixaram de o ser antes dessa data - através do campo da data de desistência foram descartados todos os clientes com data do ano 2017. Posteriormente são removidos todos os tipos de consumidores que não entram no balanço hídrico, nomeadamente os RSU e saneamento. Seguidamente de forma a identificar todos os clientes efetivamente ligados à rede em estudo, realizou-se a comparação das moradas de instalação com a lista de ruas adquirida na Etapa 1.

Nas listas todos os clientes eram identificados de 3 formas: pertencem, não pertencem ou em dúvida. Este processo foi realizado juntamente com o engenheiro e técnico responsáveis através de verbalizações e idas ao local para confirmar todos aqueles onde existiam dúvidas.

Inicialmente analisou-se a lista de clientes associados ao reservatório da Central que por sua vez englobava clientes das 4 antigas freguesias da região, Novelas, Santiago da Subarrifana, Penafiel e Guilhufe. À partida era conhecido que todos os consumidores de Novelas e Santiago da Subarrifana pertenciam efetivamente à rede em estudo. As dúvidas surgiam nos restantes clientes se estavam afetos ao reservatório correto.

Nas listas dos reservatórios Tenente Valadim e Sameiro, foram filtrados todos os clientes que estavam associados às antigas freguesias onde há redes mistas, Penafiel e Guilhufe. Nestes, as

dúvidas surgiam quando a morada ou outras informações não era suficientemente clara para atribuir a uma das redes sendo que foi necessário em colaboração com o engenheiro e técnico fazer a confirmação desses com idas aos locais (havia ruas onde uma rede de distribuição abastece um lado da rua e outra rede abastece a parte contrária).

Note-se que nada garante que existam outros clientes que não estejam afetos, principalmente devido a erros humanos visto que a atribuição do reservatório no ato de registo do cliente é feita manualmente e pode certamente existir casos singulares destas ocorrências em que clientes estão associados a reservatórios completamente errados.

Concluída a identificação de todos os consumidores efetivamente ligados à Central, extraiu-se a lista completa com os números de consumidores correspondentes após análise dos 3 ficheiros. De modo a preparar os dados para o cálculo do balanço hídrico, foi ainda necessário recorrer a uma filtragem posterior devido ao modo como foram apresentados os dados. Dadas as limitações do programa utilizada para gestão das bases de dados e ao seu acesso, como alternativa, foram facultados ficheiros mensais que por sua vez incluíam a totalidade dos consumidores. De modo a simplificar esse processo de filtragem, foi desenvolvido um *script* (Anexo I) escrito em *python* capaz de rapidamente, a partir da lista total de clientes mensal e da lista dos clientes identificados, criar um novo ficheiro *excel* apenas com a informação necessária e relativa aos consumidores que dizem respeito á rede em estudo.

- Etapa 3

Para ser clara a evolução dos diversos componentes do balanço hídrico considerou-se pertinente a sua aplicação face aos dados mensais. Como ponto de partida e com base nos registos diários sobre o volume de saída no reservatório através do caudalímetro, determina-se o volume que mensalmente é introduzido no sistema. Após a Etapa 2 é possível determinar o volume total faturado mensalmente. Como as leituras são realizadas a meio do mês, existe algum desfasamento face aos valores corretos e reais, ou seja, as leituras do mês de fevereiro são referentes os consumos efetuados depois do dia de leitura do mês de janeiro até ao dia de leitura no mês de fevereiro. Para reduzir o erro associado a este desfasamento calculou-se o dia médio de leitura e estimou-se o consumo mensal com base no dia médio da leitura. Assim foi estimado um valor mais preciso do volume faturado mensal. Quanto ao consumo autorizado não faturado, os únicos volumes que devem ser considerados seriam as descargas de condutas que são efetuadas antes e depois de intervenções. Um outro aspeto a considerar neste componente seria o abastecimento em bocas de incendio por parte dos bombeiros para o combate aos incêndios. No entanto, foi referido que a zona em questão, apesar de estar preparada, nunca foi utilizada, pelo menos significativamente, para esses fins nos últimos 3 anos. Sendo assim, foi sugerido considerar o volume autorizado não

faturado como nulo para simplificar a análise. Esta simplificação equivale a considerar todas as perdas do sistema como a totalidade da água não faturada.

De modo a estimar as perdas aparentes, considerou-se pertinente proceder a uma série de análise de dados de modo a conseguir algum tipo de correlação dos consumos médios com a idade dos contadores. O objetivo passava por atribuir, a partir da extensa base de dados, um erro médio por cada ano de utilização de um contador. Para isso, considerou-se o ano de 2019 como o ano de referência pois estavam à disposição todos os dados necessário e porque o ano de 2020 foi um ano caracteristicamente atípico devido aos confinamentos e restrições impostos à população que por sua vez, afetaram as suas rotinas e hábitos diários.

Foram selecionados apenas os consumidores do tipo doméstico pois representam à partida os consumidores com mais semelhanças entre si em termos de gastos de água e sabendo que representam grande parte do consumo da empresa e constituem a maioria do parque de contadores. Comparou-se a média do consumo mensal desses consumidores com a idade dos contadores instalados de forma a estimar o erro associado ao uso de um contador de características semelhantes ao longo de um ano. Determinado o erro, generalizou-se este para a totalidade do parque de contadores e celeremente estima-se as perdas de água associadas aos erros de medição.

As perdas aparentes englobam também, para além dos erros de medição, o consumo não autorizado ou ilícito. Este componente torna-se difícil de estimar com os dados e informações recolhidas. O consumo não autorizado pode ocorrer de várias formas como foi mencionado. Nestas circunstâncias apenas era possível estimar uma parte deste consumo não autorizado, nomeadamente aqueles que constantemente tem uma média de consumo muito abaixo do esperado, devido a alterações ao contador durante as semanas de leitura. De modo geral, neste tipo de situações, seria razoável assumir ou classificar certos consumidores como suspeitos em casos onde o consumo mensal fosse 75% mais baixo que a média, ou seja, aqueles consumidores que deixam os contadores a funcionar durante apenas a semana de leitura (uma das quatro semanas durante o mês). Ainda assim, o consumo mensal baixo poderá estar relacionado com diversos outros fatores. Com vista a simplificação de aplicação da metodologia, e devido aos raros casos de consumo ilegal, considerou-se este componente como nulo.

Sendo assim, por diferença face aos componentes calculados e estimados, estima-se o volume de perdas de águas reais.

- Etapa 4

Havendo o registo diário dos caudais mínimos noturnos, considerou-se pertinente a comparação desses caudais com os volumes das perdas reais estimados a partir da abordagem *Top Down*. Esta comparação foi realizada com o intuito de validar e atribuir uma maior exatidão aos volumes estimados de alguns componentes do balanço hídrico. Os caudais mínimos noturnos correspondem

ao consumo noturno autorizado juntamente com as perdas reais do sistema. Considerando que o consumo autorizado noturno reflete-se numa porção pouco significativa, os caudais devem traduzir em grande parte os volumes efetivamente correspondentes às perdas reais.

- Etapa 5

Finalmente procedeu-se a uma análise critica dos resultados obtidos das abordagens aplicadas com vista a uma melhoria na definição de estratégicas futuras a adotar pela empresa de modo a alcançar um nível de excelência na gestão e redução de perdas de água no abastecimento.

4.5. Análise de dados

4.5.1. Geral – Penafiel Verde, E.M.

Para caracterizar e auxiliar as estimativas dos consumidores associados á rede de distribuição do reservatório da Central, foram cedidos ficheiros arquivados dos últimos 2 anos que continham, entre outras, as seguintes informações mensais relativamente à totalidade dos clientes da empresa e que foram usadas de alguma forma no decorrer da realização da presente dissertação.

- Número de Consumidor
- Estado
- Data de desistência
- Tipo de Consumidor
- Morada de Instalação
- Localidade de Instalação
- Marca do Contador
- Data de Colocação do Contador
- Tarifário associado ao consumo de Água
- Leitura Efetuada
- Data de Leitura
- Leitura Faturada
- Último Consumo

Antes de partir para a análise de dados da zona em estudo, entende-se indicado fazer uma breve análise dos consumidores e contadores que abrangem a totalidade do sistema servido pela Penafiel Verde, E.M..

4.5.1.1. Consumidores

Quanto ao tipo de consumidor, a empresa distingue estes pelos seguintes grupos:

- Bocas de incendio
- Comércio/Serviços
- Condomínios
- Domésticos
- Estado
- Indústria
- Instituições
- Juntas
- Município
- Provisórios/Avulso
- Totalizador

A 1 de janeiro de 2021 a empresa era responsável por abastecer um total de 23645 consumidores sendo que nesse mês foram faturados 153283 m^3. A distribuição destes valores pelo tipo de consumidor pode ser observada na Tabela 4.2 e na Figura 4.5.1, em percentagem face ao valor total.

Tabela 4.2 - Distribuição do tipo de consumidores pelo número de consumidores e pelo volume mensal consumido.

Tipo de Consumidor	Número de Consumidores	Consumo mensal[1] (m^3)
BOCA INCENDIO	26	9
COMERCIO/SERV.	1694	11310
CONDOMINIO	201	416
DOMÉSTICO	20381	118474
ESTADO	39	6384
INDÚSTRIA	124	1951
INSTITUIÇÕES	179	2529
JUNTAS	134	706
MUNICÍPIO	184	8884
PROVIS./AVULSO	570	1550
TOTALIZADOR	113	1070
Total	23645	153283

[1] Volumes referentes ao mês de dezembro de 2020

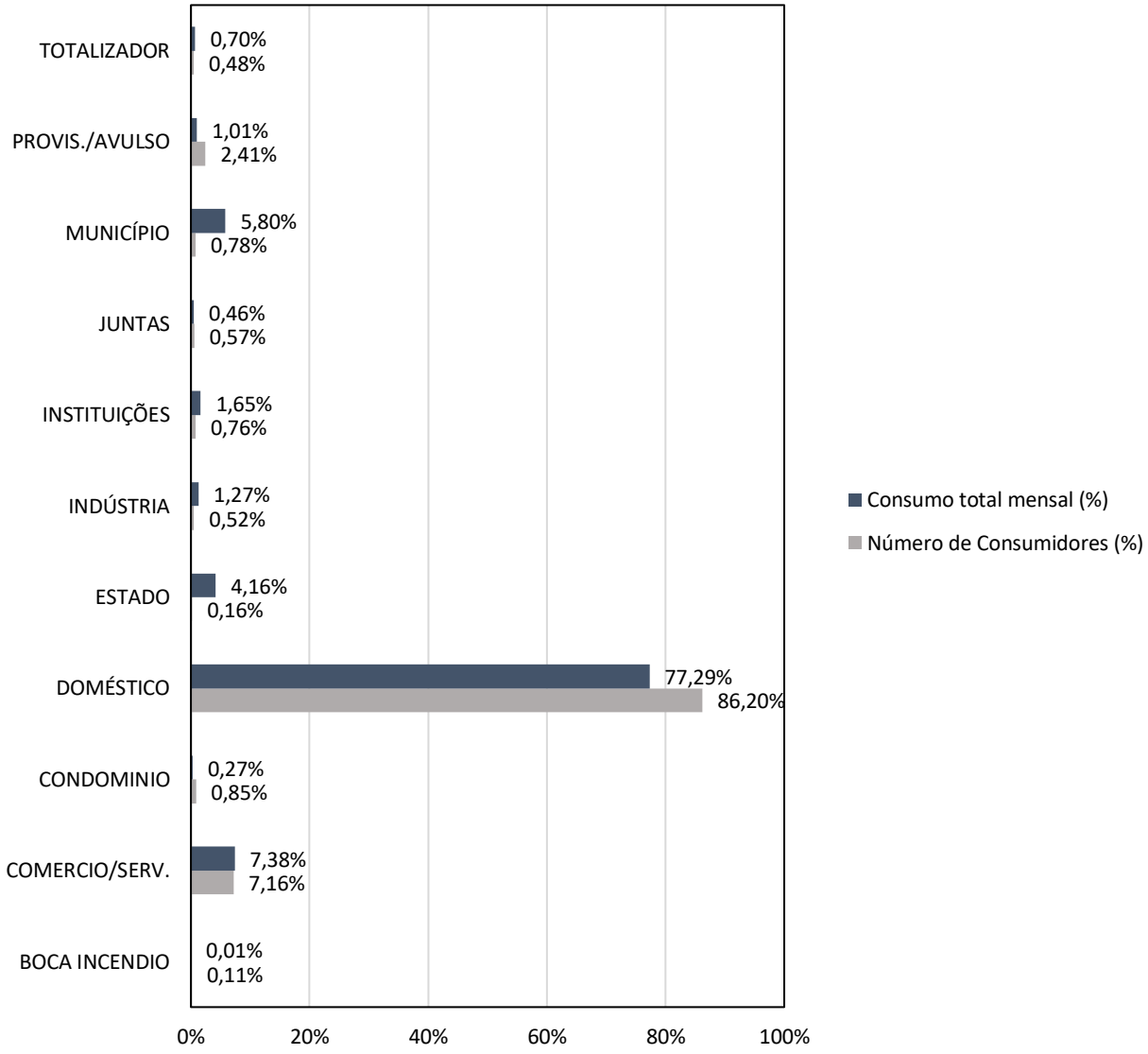

Figura 4.5.1 – Distribuição dos tipos de consumidores pelo número de consumidores e do consumo mensal em termos percentuais.

Refletindo sobre estes dados, verifica-se que como esperado a maioria dos consumidores são do tipo doméstico e estes representaram cerca de 77% do consumo no mês retratado. Os consumidores domésticos juntamento com os de tipo comércio/serviços representam a quase totalidade dos clientes da empresa. Em termos de consumo, destacam-se outros consumidores, como é o caso do Município e Estado que por si só representam valores percentuais de volume já mais significativos. No caso do Município, os volumes retratam todos os usos da água para funções de rega e limpeza dos espaços dirigidos pelo Município de Penafiel. Para as entidades do Estado, sublinha-se a presença do Centro Hospital do Tâmega e Sousa, onde o consumo é naturalmente substancial.

4.5.1.2. Contadores

A escolha dos contadores depende de vários fatores e como tal, a empresa utiliza diversas marcas e modelos de contadores que se justificam adequados para o tipo de utilização a que se destina. Para os consumidores domésticos foram utilizados ao longo dos anos diferentes marcas e modelos influenciados pelos mercados e características técnicas que estão em evolução constantemente. As distribuições dos contadores com base nestas características são apresentadas na Tabela 4.3 e na Figura 4.5.2.

Tabela 4.3 - Distribuição do parque de contadores de acordo com a sua marca/modelo.

MARCA/MODELO	Quantidade
ITRON	11292
REGULADORA	3862
LORENZ	2666
TAGUS	2277
JANZ	981
SOCAM	814
ACTARIS	745
ZENIT	459
ATLANTIS	379
OUTROS	170
TOTAL	23645

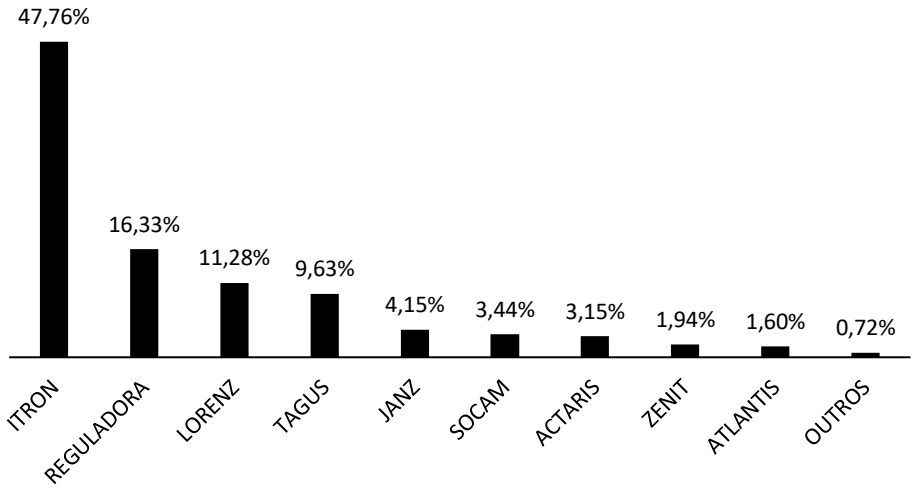

Figura 4.5.2 - Distribuição percentual dos contadores de água de acordo com a sua marca/modelo.

A análise da distribuição por marca/modelos permite evidenciar, no entanto, a tendência de utilização dos contadores da marca *Itron*. A marca representa quase 50% dos contadores do parque de contadores. A marca disponibiliza diferentes tipos de contadores de diferentes características de modo a satisfazer as necessidades do utilizador. De um modo geral, dada a prevalência de consumidores do tipo doméstico, o modelo *Aquadis+* tem sido, segundo a empresa, o mais utilizado. Trata-se de um contador de água volumétrico de pistão rotativo preparado e adequado ao consumo doméstico/residencial. Realça-se ainda a possibilidade de acoplar módulos de comunicação através de tecnologia *Cyble* havendo assim a oportunidade de implementar sistema de leitura por telemetria (Itron – Sistemas de Medição,LDA, 2017).

Para analisar a idade dos contadores, fez-se a contabilização dos consumidores com data de instalação para cada ano de acordo com a base de dados disponível. Como já foi mencionado anteriormente, a data de colocação não traduz a colocação de um contador novo. No entanto, na maioria dos casos, os contadores colocados são efetivamente novos pelo que se generaliza essa condição. Esta foi considerada a única forma de estimar a idade dos contadores visto que a idade efetiva dos mesmo não fica registada.

Tabela 4.4 - Distribuição dos contadores de acordo com o seu ano de colocação.

Ano	Número de contadores colocados	%
1998	1248	5,28%
1999	304	1,29%
2000	487	2,06%
2001	357	1,51%
2002	770	3,26%
2003	730	3,09%
2004	664	2,81%
2005	856	3,62%
2006	882	3,73%
2007	729	3,08%
2008	686	2,90%
2009	984	4,16%
2010	844	3,57%
2011	904	3,82%
2012	1039	4,39%
2013	933	3,95%
2014	867	3,67%
2015	1333	5,64%
2016	1230	5,20%
2017	1600	6,77%
2018	1670	7,06%
2019	2103	8,89%
2020	2425	10,26%
Total	23645	100,00%

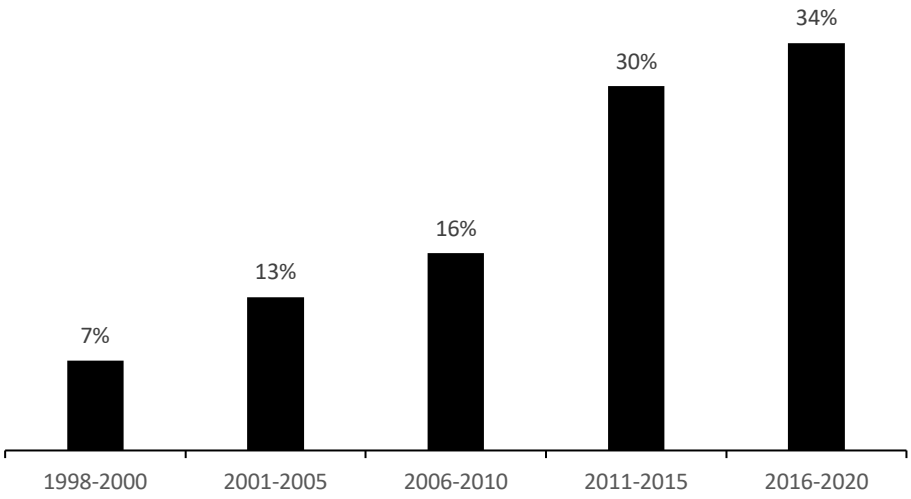

Figura 4.5.3 - Distribuição dos contadores de acordo com os seus anos de colocação.

Daqui retira-se que cerca de 35% de todo o parque de contadores já tem mais de dez anos. Por outro lado, existe atualmente 1552 contadores com mais de 20 anos (contadores colocados em 1998 e 1999). Ainda com base nestes dados conclui-se que a idade média da totalidade do parque de contador em 2019 foi de 8,3 anos.

4.5.2. Consumidores

As análises realizadas nesta secção correspondem aos dados disponibilizados do ano 2019 que face a 2020 é retratado como ano mais típico. A ZMC Central constitui consumidores de 4 antigas freguesias distintas. A sua distribuição está representada na Figura 4.5.4, assim como a sua distribuição em termos de volume faturado na Figura 4.5.5. A distribuição por tipo de clientes apresenta-se na Figura 4.5.6.

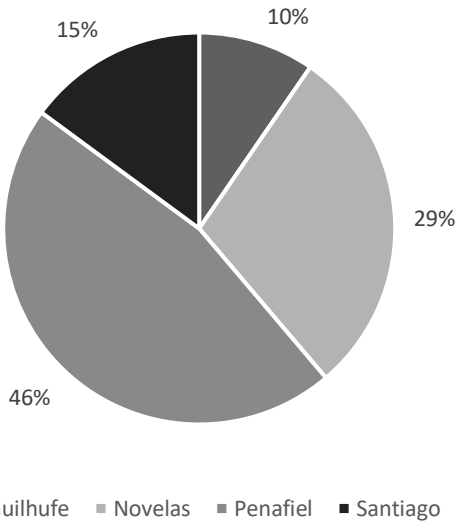

Figura 4.5.4 - Distribuição dos consumidores por freguesias.

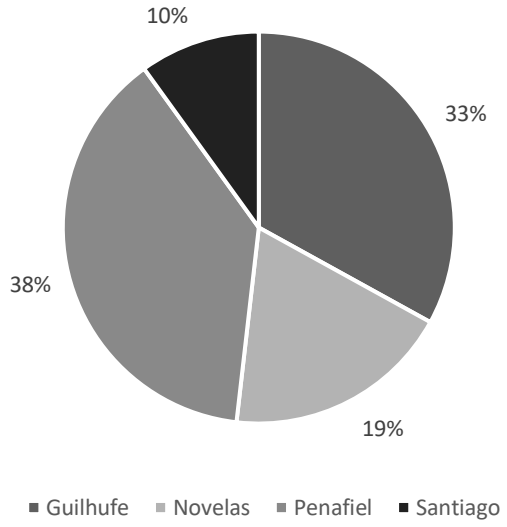

Figura 4.5.5 - Distribuição dos consumidores da ZMC pelo consumo faturado.

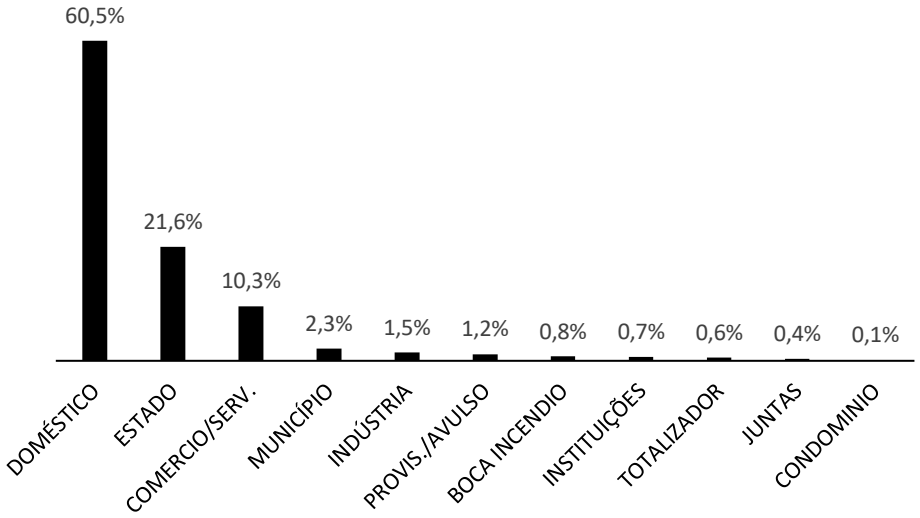

Figura 4.5.6 - Distribuição dos consumos da ZMC por tipo de consumidor.

A partir das representações evidencia-se que a maior parte dos consumidores localizam-se nas antigas freguesias de Penafiel e Novelas. No entanto, verifica-se que Guilhufe, apesar da pequena percentagem de consumidores, representam uma parte considerável do consumo na ZMC. O motivo do sucedido deve-se à presença do Centro Hospitalar Tâmega e Sousa e da grande presença de consumidores do tipo Comércio/Serviços e Indústria. O impacto do consumo do hospital torna-se visível na representação dos consumos pelo tipo de consumidor. Note-se que o único consumidor

do tipo Estado na ZMC – o hospital - é responsável, em média, pelo consumo de 21,6% de toda a água que abastece a rede.

4.5.3. Volumes faturados

Como os volumes faturados não correspondem exatamente ao volume consumido tentou-se corrigir essa discrepância usando as datas de leitura médias. Uma leitura corresponde ao valor consumido desde meados do mês anterior até meados do mês seguinte. Sendo assim, o volume foi distribuído pelos meses tendo em conta a data média das leituras.

Tabela 4.5 - Dados referentes à estimativa dos consumos mensais.

Data	Faturado (m^3)	Dia do mês medio	Consumido (m^3)
jan/19	22839	14	21892
fev/19	21086	14	20727
mar/19	20421	14	21331
abr/19	22106	14	22161
mai/19	22208	14	23258
jun/19	24153	14	23756
jul/19	23417	14	25550
ago/19	27367	14	25969
set/19	24779	14	23849
out/19	23057	14	23086
nov/19	23110	14	21797
dez/19	20678	14	22158
jan/20	22075	13	22197
fev/20	22288	13	21716
mar/20	21289	13	21625
abr/20	21875	13	21525
mai/20	21264	13	25884
jun/20	29328	13	25797
jul/20	26165	15	27686
ago/20	27389	14	27595
set/20	26178	13	23921
out/20	23592	14	24387
nov/20	23626	13	22152
dez/20	21053	13	8992

4.5.4. Contadores

Com os dados referentes a janeiro de 2020 que por sua vez, refletem os últimos dados de 2019, da mesma forma que se analisou o parque de contadores total, fez-se a análise para a ZMC em estudo onde se compilou as distribuições por marcas dos contadores (Tabela 4.6) e por ano de colocação (Tabela 4.7) da qual se determina a idade média dos contadores associados a rede em estudo.

Tabela 4.6 - Distribuição dos contadores da ZMC em estudo de acordo com a sua marca/modelo.

Marca/Modelo	Quantidade	%
ITRON	1108	48,2%
REGULADORA	386	16,8%
LORENZ	304	13,2%
TAGUS	197	8,6%
ACTARIS	86	3,7%
SOCAM	69	3,0%
JANZ	62	2,7%
ATLANTIS	40	1,7%
AQUADIS	12	0,5%
ZENIT	12	0,5%
OUTROS	21	0,9%

Tabela 4.7 - Dados referentes à distribuição dos contadores por ano de colocação.

Ano	Quantidade	%
1998	191	8,2%
1999	25	1,1%
2000	31	1,3%
2001	31	1,3%
2002	66	2,8%
2003	41	1,8%
2004	42	1,8%
2005	54	2,3%
2006	61	2,6%
2007	96	4,1%
2008	93	4,0%
2009	106	4,5%
2010	81	3,5%
2011	87	3,7%
2012	111	4,8%
2013	118	5,1%
2014	77	3,3%
2015	162	6,9%
2016	161	6,9%
2017	201	8,6%
2018	216	9,3%
2019	284	12,2%

Da análise das tabelas, evidencia-se que a ZMC se traduz numa área bastante representativa daquilo que se passa na região controlada pela Penafiel Verde, E.M. tanto a nível de distribuição de marcas como a nível de idade dos contadores que na ZMC é de 8,1 anos.

4.5.5. Erros de Medição

Para a estimativa dos erros de medição foi necessário estudar a média do consumo da ZMC. Como foi referenciado anteriormente, foi tomado como referência os dados relativos ao ano de 2019. Desta forma, é relevante perceber a distribuição dos consumos da zona pelo tipo de consumidor com o objetivo de perceber que percentagem corresponde ao consumo dos domésticos em média ao longo de um ano típico.

Tabela 4.8 - Dados referentes à distribuição do volume consumido por tipo de consumidor em 2019.

Tipo de consumidor	Volume consumido (%)
DOMÉSTICO	58,8%
ESTADO	22,1%
COMERCIO/SERV.	10,6%
MUNICÍPIO	3,0%
INDÚSTRIA	2,6%
PROVIS./AVULSO	1,2%
TOTALIZADOR	0,5%
CONDOMINIO	0,4%
INSTITUIÇÕES	0,4%
JUNTAS	0,3%
BOCA INCENDIO	0,1%

Dos dados, conclui-se que durante 2019, o consumo dos domésticos correspondeu em média a 58,8% do consumo mensal evidenciando a que a maioria do consumo é dos utilizadores domésticos. Com isto, e devido à maior amostra de dados relativamente a este tipo de clientes, calculou-se a média de consumo destes utilizadores quando comparados com a data de colocação do seu contador (Tabela 4.9) e fez-se a sua representação gráfica na Figura 4.5.7.

Tabela 4.9 - Dados sobre a distribuição do número de consumidores domésticos por ano de colocação e respetiva média mensal de consumo.

Ano	Quantidade	Consumo médio mensal (m^3)
1998	1267	4,20
1999	308	5,75
2000	509	5,13
2001	359	4,38
2002	789	5,42
2003	728	5,07
2004	676	5,15
2005	867	4,70
2006	911	5,47
2007	724	8,21
2008	654	5,51
2009	937	4,99
2010	808	5,36
2011	818	5,08
2012	946	5,22
2013	837	6,02
2014	777	5,20
2015	1160	5,99
2016	1097	6,26
2017	1409	5,47
2018	1468	6,15
2019	1882	5,73
Total	19931	5,51

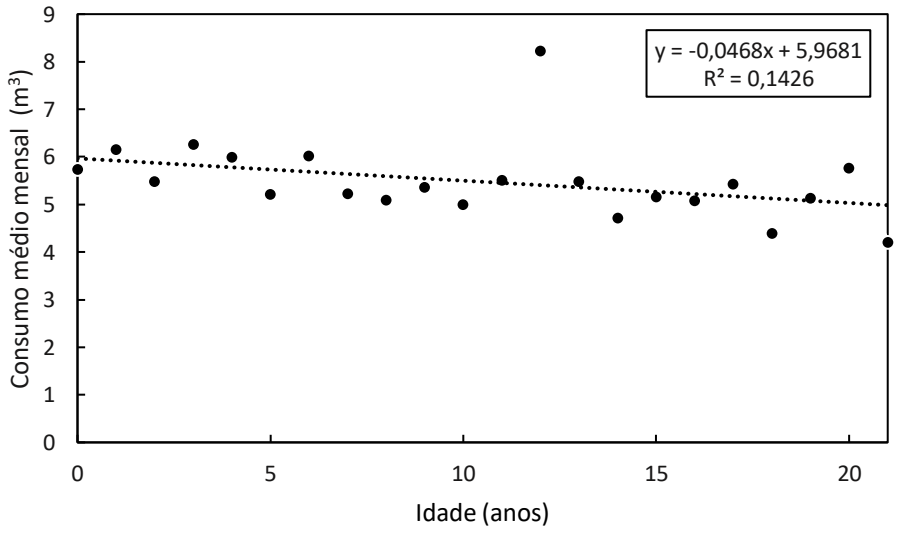

Figura 4.5.7 - Consumo médio mensal em função da idade dos contadores.

Com a análise dos consumos médios mensais face ao ano de colocação dos contadores atribuiu-se um decréscimo anual de 0,78% conseguido através de uma simples regressão linear com vista a estimar perdas com os erros de medição.

Com isto calculou-se os erros de medição na ZMC da Central recorrendo á idade média do parque de contadores.

Tabela 4.10 - Dados da evolução para o cálculo das perdas por erros de medição.

Data	Idade média (anos)	Volume consumido (m^3)	Perdas por erros medição (m^3)
jan/19	8,09	21892	1382
fev/19	8,11	20727	1312
mar/19	8,01	21331	1332
abr/19	8,05	22161	1391
mai/19	8,05	23258	1461
jun/19	8,08	23756	1497
jul/19	8,12	25550	1618
ago/19	8,14	25969	1648
set/19	8,16	23849	1518
out/19	8,17	23086	1470
nov/19	8,24	21797	1401
dez/19	8,16	22158	1411
jan/20	8,16	22197	1412
fev/20	8,21	21716	1391
mar/20	8,27	21625	1395
abr/20	8,34	21525	1400
mai/20	8,42	25884	1700
jun/20	8,45	25797	1701
jul/20	7,48	27686	1616
ago/20	6,56	27595	1411
set/20	6,42	23921	1197
out/20	6,48	24387	1233
nov/20	6,53	22152	1128

Para 2019, foram estimados um total de 17.441 m^3 de perdas de água por erros de medição. Quando comparado com o valor estimado pela empresa, 35.690 m^3 para a totalidade do sistema gerido pela Penafiel Verde, deduz-se que a forma usada para a estimativa baseada em apenas 17 aferições de contadores se traduza num retrato pouco exato da realidade. Tendo em conta o volume faturado medido em 2019 de 1.994.044 m^3 e a idade média do parque de contadores nos

8,3 anos, estima-se uma perda por erros de medição na ordem dos 129.094 m^3, ou seja, um valor quase 3,6 vezes maior ao estimado pela empresa. Indiscutivelmente, a metodologia poderia facultar uma estimativa ainda mais exata caso fosse efetuada uma análise mais minuciosa e particular do caso de cada consumidor. Analisando o histórico de consumo de cada consumidor ao longo dos anos seria possível atribuir um decréscimo mais acertado para cada um eles.

Curiosamente, quando é feita a análise da idade dos contadores apenas na antiga freguesia de Novelas (Tabela 4.11), verifica-se uma distribuição bastante diferente.

Tabela 4.11 - Distribuição dos contadores da antiga freguesia de Novelas pelo ano de colocação.

Ano	Quantidade
1999	1
2001	1
2002	2
2006	1
2008	1
2009	1
2012	4
2013	1
2014	3
2015	59
2016	37
2017	44
2018	40
2019	51
2020	433
Total	**679**

Aqui a idade média dos contadores é de apenas sete meses visto que 64% dos contadores da freguesia foram colocados em 2020 demonstrado que o foco da substituição dos contadores realizou-se nesta localidade.

Adicionalmente e com o intuito de atribuir um valor representativo do prejuízo por metro cúbico de perdas por erros de medição, fez-se a seguinte análise com base apenas nos consumidores domésticos que representam a maioria do consumo da ZMC.

Inicialmente determinou-se que todos os consumidores tinham um de quatro tarifários associados ao seu contrato, codificados como na Tabela 4.12. Seguidamente era necessário perceber a média para o consumo mensal de cada um dos tarifários. Para isso efetuou-se uma análise mensal do volume faturado todos os tarifários tendo em conta o número de consumidores associados em cada momento (Tabela 4.13).

Com a média determinada, aplicou-se o tarifário de abastecimento de água 2020 da empresa, que por sua vez, constitui duas componentes distintas - fixa e variável. É importante notar que apenas foi contabilizada a componente variável porque a componente fixa é cobrada independentemente dos erros de medição. Realça-se, no entanto, que a componente variável é aplicável de forma progressiva, ou seja, o valor resultante é calculado pela soma das parcelas correspondestes a cada escalão. A componente variável varia de acordo com o tarifário associado (Tabela 4.14). Posto isto, estimou-se o prejuízo em euros associado ao erro de medição de um metro cubico de água tendo em conta a distribuição dos consumidores pelos tarifários.

Tabela 4.12 - Codificação dos tarifários associados a consumidores domésticos.

Código	Descrição
A102	Tarifa para domésticos
A902	Tarifa social para domésticos
AF4	Tarifa famílias numerosas
BA91	Tarifa especial bombeiros

Tabela 4.13 - Dados para o cálculo da média mensal de consumo dos consumidores domésticos por tarifário.

Código	Volume (m^3)	Consumidores	Média mensal (m^3)
A102	12883	1917	6,7
A902	373	49	7,6
AF4	134	11	11,9
BA91	80	11	7,2

Tabela 4.14 - Custo da componente variável por tarifário em euros (€).

Código	<5 m^3	> 5 m^3 e <15 m^3	>15 m^3 e <25 m^3	>25 m^3
A102	0,6578	1,0525	2,2264	3,2283
A902	0,6173		2,1960	2,7526
AF4	0,6173		2,1960	2,7526
BA91	0,6173		2,1960	2,7526

Tabela 4.15 - Dados para o cálculo do prejuízo médio associado à perda de um metro cúbico de água.

Código	Componente Variável (€)	Média mensal (m^3)	Consumidores (%)	Média (€/m^3)
A102	5,10	6,7	96,4%	0,7538
A902	4,71	7,6	2,5%	
AF4	7,36	11,9	0,6%	
BA91	4,46	7,2	0,6%	

Analisando os resultados, estimou-se que, em média, o prejuízo por cada metro cúbico não medido rondará os 75 cêntimos relativamente apenas ao serviço de abastecimento de água. A este valor deverá ser ainda acrescentada a tarifa variável resultante do serviço de saneamento que corresponde a uma parcela adicional de 111,8% face ao valor cobrada na tarifa variável do serviço de abastecimento de água. Considerando ainda os RSU (receita da CMP), estaria associado um prejuízo extra de 5%, totalizando um prejuízo de cerca de 1,67€ por cada metro cubico (ou 1,59€ para a empresa).

O mesmo raciocínio pode ser aplicado ao volume faturado de todos os tipos de consumidores e com isso, estimar valores mais exato e realistas relativos ao prejuízo associado aos erros de medição. Salienta-se que o valor encontrado foi estimado através de várias suposições estando assim associado a uma incerteza significativa. Apesar de tudo, deverá proporcionar uma noção da grandeza do prejuízo.

Desta forma, olhando para os volumes estimados de perdas por erros de medição apresentados anteriormente, calcula-se que em 2019, a empresa teve 2.310,49€ de prejuízo médio mensal perfazendo assim um total de 27.731,19€ nesse ano, apenas na ZMC em estudo. Com a renovação dos contadores na antiga freguesia de Novelas, esse prejuízo mensal estimado baixou para o valor médio de 2.094,03€, reforçando o parecer pouco impactante da substituição dos contadores.

4.5.6. Balanço Hídrico – *Top Down*

Com todos os componentes devidamente determinados e estimados, analisou-se o balanço hídrico da rede desde durante os últimos dois anos na Tabela 4.16 e graficamente na Figura 4.5.8.

Tabela 4.16 - Dados da evolução dos componentes do balanço hídrico em metros cúbicos (abordagem Top Down).

Mês	Saída Reservatório	Faturado	Água Não Faturada	Perdas aparentes	Perdas reais
jan/19	46188	21892	24296	1382	22914
fev/19	41687	20727	20960	1312	19648
mar/19	40780	21331	19449	1332	18117
abr/19	38681	22161	16520	1391	15129
mai/19	42398	23258	19140	1461	17678
jun/19	41957	23756	18201	1497	16704
jul/19	48108	25550	22558	1618	20940
ago/19	48703	25969	22734	1648	21086
set/19	49900	23849	26051	1518	24533
out/19	45084	23086	21998	1470	20528
nov/19	43011	21797	21214	1401	19813
dez/19	45197	22158	23039	1411	21628
jan/20	44397	22197	22200	1412	20788
fev/20	41112	21716	19396	1391	18005
mar/20	46188	21625	24563	1395	23168
abr/20	45287	21525	23762	1400	22362
mai/20	33137	25884	7253	1700	5554
jun/20	30297	25797	4500	1701	2800
jul/20	36387	27686	8701	1616	7086
ago/20	35813	27595	8218	1411	6807
set/20	34202	23921	10281	1197	9083
out/20	30470	24387	6083	1233	4850
nov/20	28656	22152	6504	1128	5376

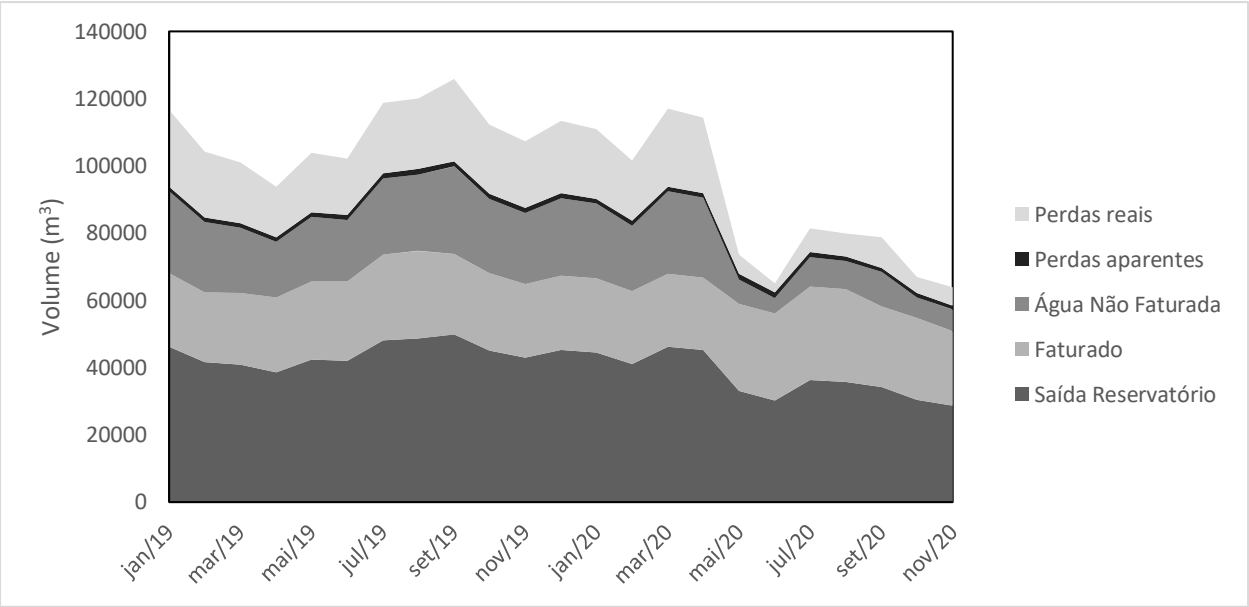

Figura 4.5.8 - Evolução dos componentes do balanço hídrico (abordagem Top Down).

A partir da análise dos resultados é possível distinguir os dois períodos características da rede – antes e depois das intervenções sendo que o foco da intervenção terminou em julho de 2020. Nos últimos meses do ano nota-se o estreitamento de todas as faixas exceto o consumo faturado. Calculando as médias dos principais indicadores de desempenho da rede obteve-se os seguintes resultados apresentados na Figura 4.5.9.

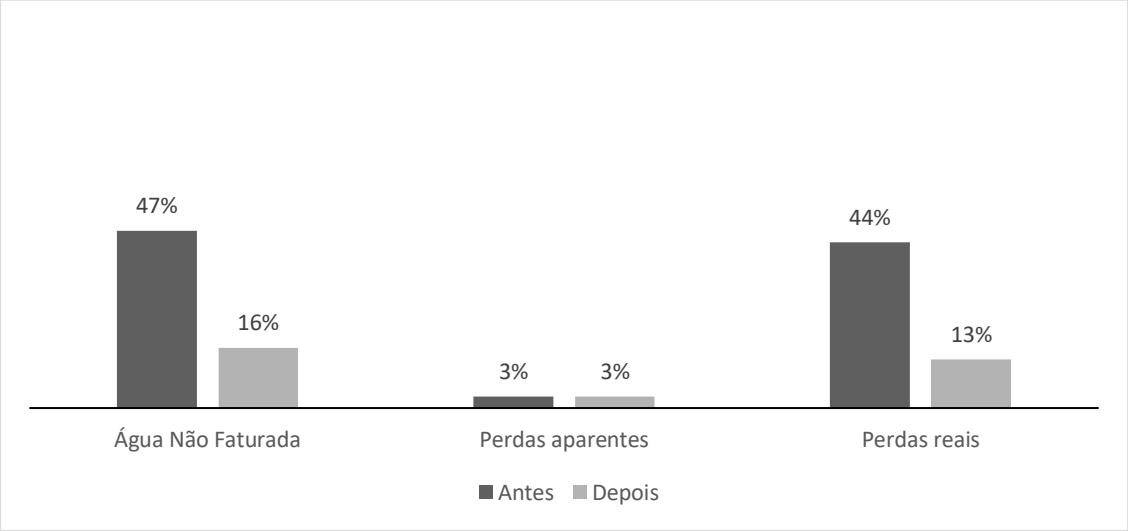

Figura 4.5.9 - Indicadores de desempenho da rede antes e depois das intervenções.

Segundo a figura verifica-se que o grande impacto aconteceu ao nível das perdas reais e que representam praticamente as reduções mais significativas de perdas na rede. Por outro lado, confirma-se que a substituição dos contadores não produziu um impacto tão significativo em termos de perdas.

4.5.7. Caudais mínimos noturnos

Por outro lado, fez-se a análise dos registos diários dos caudais mínimos noturnos (CMN) e calculou-se a média mensal (Tabela 4.17) para comparar com a abordagem anterior (*Top Down*)(Figura 4.5.10).

Tabela 4.17. - Evolução dos caudais mínimos noturnos e respetiva conversão para unidades comparáveis.

Mês	CMN (m^3/h)	Perdas reais + Consumo autorizado noturno (m^3) (*Bottom Up*)
jan/19	31,5	24296
fev/19	30,1	20960
mar/19	25,2	19449
abr/19	24,7	16520
mai/19	26,3	19140
jun/19	28,2	18201
jul/19	32,1	22558
ago/19	33,2	22734
set/19	35,1	26051
out/19	30,6	21998
nov/19	32,9	21214
dez/19	33,3	23039
jan/20	32,2	22200
fev/20	30,3	19396
mar/20	32,5	24563
abr/20	34,7	23762
mai/20	11,4	7253
jun/20	7,7	4500
jul/20	9,9	8701
ago/20	13,3	8218
set/20	12,7	10281
out/20	10,9	6083
nov/20	11,1	6504

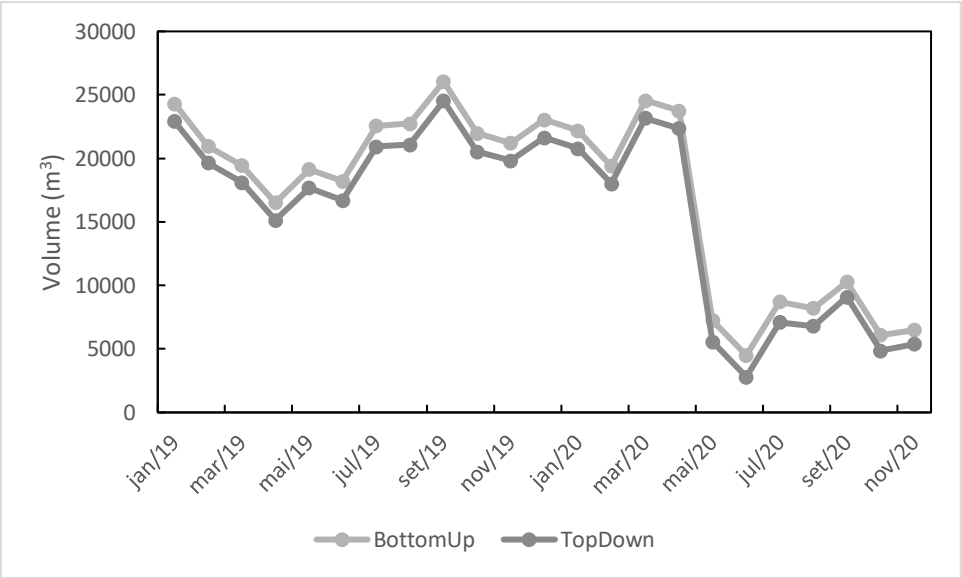

Figura 4.5.10 - Comparação entre as perdas reais estimadas (Top Down) e o volume combinado das perdas reais e do consumo autorizado noturno (Bottom Up).

Pela análise da figura observa-se que o consumo mínimo noturno é constantemente ligeiramente acima das perdas reais estimadas pela abordagem *Top Down*. A discrepância estará relacionada com o consumo autorizado que ocorre no período da noite, mas que não é possível calcular dados os recursos e dados disponibilizados. Deduzindo que o consumo noturno é pouco significativo, a comparação garante fiabilidade à metodologia aplicada e às estimativas calculadas devido a proximidade dos valores obtidos por duas abordagens diferentes.

4.5.8. Indicadores de perdas reais

Dadas as características da rede estimou-se consequentemente o UARL, indicador de perdas reais. A aplicação do indicador resulta num valor de UARL[2] de 3,3 l/ramal/hora. Convertendo o resultado para unidades comparáveis tem-se que as perdas anuais inevitáveis se estimam em 32.872 m^3/ano. Se for dividido pelos 12 meses do ano significa que as perdas reais de fundo correspondem a 2739 m^3/mês.

Desta forma, observa-se que depois da equipa terminar a intervenção na ZMC, o volume de perdas atingiu um estado quase ótimo sendo evidente os resultados dos recursos despendidos. Este raciocínio acaba por ser demonstrado no valor do ILI quando simplificado e aplicado a uma escala mensal e apenas aos meses depois da intervenção. Considerando uma média mensal de perdas reais de (com base na abordagem Top Down) 7772 m^3/ano resulta num ILI de 2,6. Realça-se que esta média não será representativo do ano inteiro pois apenas foram contabilizados 4 meses. Ainda

[2] Para o cálculo do UARL foi considerada uma pressão média da rede de 45 metros.

assim, estes cálculos apesar de estimativas permitem ter uma noção do estado da rede. Um ILI pouco acima de 2 pode significar, segundo a bibliografia, que o investimento para reduzir ainda mais as perdas, não seja viável encontrando-se assim perto do seu nível económico de perdas reais.

4.5.9. Perspetiva geral e projeção 2021

De um modo geral, a Penafiel Verde, E.M. foi capaz, num período de tempo de dois meses, reduzir o volume abastecido na rede em cerca de 11.600 m^3 por mês. Num ano, serão cerca de 139.200 m^3 que não serão desperdiçados com perdas do sistema. Este volume corresponde, em média, a 5% do volume anual que a empresa distribuí para todo o concelho (cerca de 2.8 milhões de metros cúbicos).

Em termos de água não faturada, os 139.200 m^3 anuais equivalem a uma redução de quase 17% na totalidade do sistema gerido pela empresa. Se as circunstâncias não forem alteradas drasticamente, projeta-se que a percentagem da água não faturada baixe para perto dos 26% no espaço de um ano, uma redução de 3,6% face ao ano anterior (Figura 4.5.10).

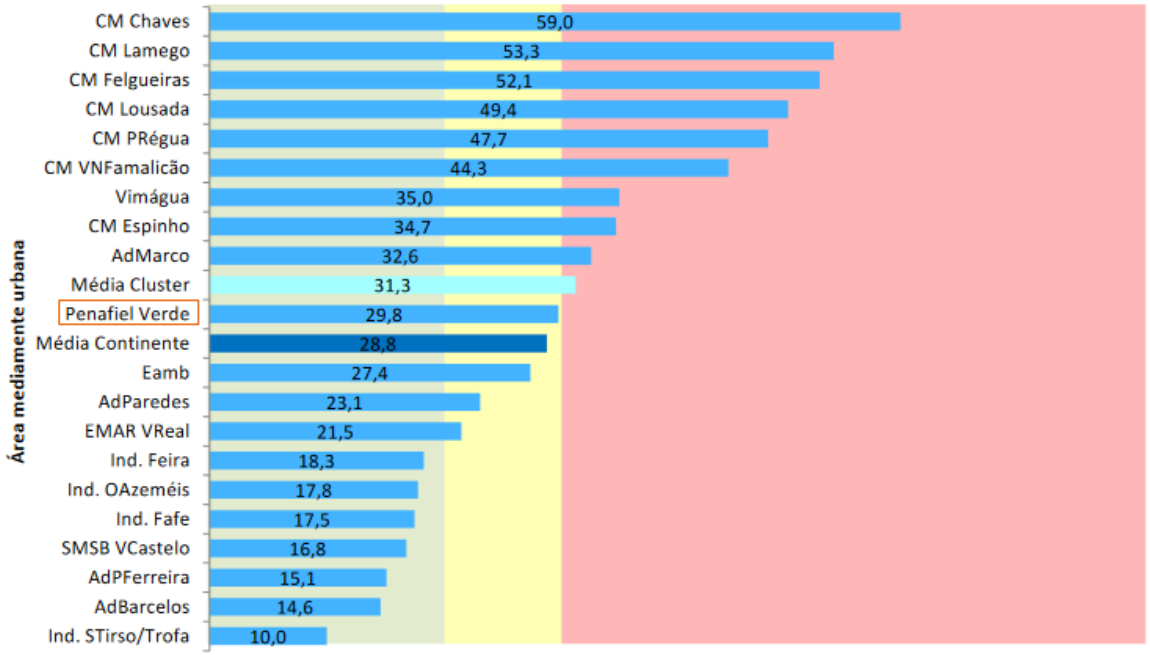

Figura 4.5.11 – Percentagem de água não fatura em áreas mediamente urbanas no norte do país (ERSAR, 2020).

De acordo com a Figura 4.5.10, a redução esperada colocará a empresa abaixo da média continental em Portugal em termos de percentagem de água não faturada que se tem mantido perto dos 30% nos dois anos anteriores. Trata-se de uma redução significativa e que está ao alcance de várias entidades e empresas gestoras de características semelhantes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

Os potenciais benefícios de uma gestão de excelência nas perdas de água são imensos em diferentes níveis – ambiental, social, económico. Cabe as empresas gestoras atuar nesse sentido de modo a implementar práticas mais sustentáveis na utilização deste bem essencial e cada vez mais escasso.

A Penafiel Verde, E.M. demonstra que o combate às perdas de água tem lugar nas prioridades da empresa. Ainda assim, este estudo comprovou a necessidade de algumas melhorias, que permitam, neste caso, ultrapassar certas dificuldades que impossibilitam o objetivo de alcançar análises mais expeditas e de ainda maior qualidade.

Constatou-se que alguns dos requisitos mínimos para o estudo e avaliação das perdas de águas careciam de um maior grau de precisão e encontravam-se demasiado fragmentados. Apesar de todos esses obstáculos, salienta-se a capacidade da equipa em conseguir resultados formidáveis na zona de medição e controlo do reservatório da Central, zona alvo de estudo desta dissertação.

As intervenções na rede de distribuição no ano de 2020 resultaram num decréscimo significativo das perdas de água na ZMC. Segundo os resultados obtidos, uma redução em cerca de 30% da água não faturada foi o produto dessa operação expressivamente eficaz que decorreu em apenas dois meses.

Visto que a ZMC estudada representa cerca de 20% do volume que entra em todo o sistema, a redução obtida equivale a uma diminuição da percentagem de água não faturada de 3,6%. De acordo, com o balanço hídrico do sistema, a componente da água não faturada ronda os 30% durante os últimos anos. Desta forma, com a identificação das zonas críticas e uma mobilização de esforços para essas mesmas zonas que estejam a ter desempenhos semelhantes à ZMC da Central, admite-se que a empresa poderia confortavelmente, no espaço de um ano, reduzir esta componente para a ordem dos 20%.

No entanto, não é apropriado desvalorizar o tempo de resposta da empresa face a esta situação. As intervenções poderiam ter sido identificadas de forma mais célere e prontamente resolvidas com uma abordagem mais pró-ativa no combate das perdas demonstrando o elevado potencial de implementar metodologias referidas ao longo deste estudo.

Adicionalmente, as metodologias usadas para a estimativa das perdas aparentes foram consideradas desadequadas devido á amostra residual de contadores aferidos ao longo dos anos. Segundo os dados recolhidos e apurados, as perdas aparentes serão 3,6 vezes maiores do que o inicialmente estimado pela empresa face ao ano de 2019.

Admite-se que foram aplicadas diversas simplificações que se manifestam sob a forma de incerteza nos resultados obtidos. Contudo, o grau de qualidade dos resultados reflete o grau de qualidade dos dados e da informação existente e disponibilizada.

Esta dissertação permitiu mostrar à empresa um método de análise e avaliação de resultados que pode ser aplicado num curto período de tempo após as intervenções efetuadas, mostrando assim que é plausível manipular os dados disponíveis de forma a perceber que impacto ocorreu de forma quase imediata. Este documento serviu ainda para identificar algumas falhas nos métodos até agora utilizados e perceber de que forma podem ser otimizados.

Em conclusão, considera-se que as expetativas da empresa face ao que foi inicialmente solicitado, tenham sido correspondidas satisfatoriamente, nomeadamente aos resultados e ao impacto provocado pelas intervenções da equipa na ZMC da Central. Suplementarmente, espera-se que a presente dissertação tenha um efeito positivo no auxílio de tomadas de decisões futuras relativas à temática das perdas de água face às potencialidades que foram demostradas caso haja uma boa gestão da informação.

5.2. Recomendações

De um ponto de vista mais fundamental, é importante o fácil acesso a informação que, por sua vez, deve ser de qualidade. A georreferenciação e a correta afetação dos consumidores á rede, deve ser algo melhorado para servir como uma base sólida de informação propondo assim uma revisão à base de dados.

Para análise e gestão das perdas de água do sistema, o SIGC usado considerou-se bastante limitado a nível de manipulação e acesso a informação. Visto que uma mudança do programa utilizado de gestão de informação trata-se de uma opção totalmente desadequado devido a outras funcionalidades noutros setores importantes para a empresa, seria, no entanto, conveniente a existência de um sistema adicional capaz de, com os dados disponíveis, fazer uma análise semelhança ao que é referido ao longo desta dissertação - algo mais interativo, intuitivo e flexível

em termos de funcionalidades e adaptado aos recursos da empresa, isto porque o maior problema encontrado não foi necessariamente a falta de dados, mas sim a fraca acessibilidade e organização dos mesmos.

Com isto, seria possível uma análise mais detalhada sobre a realidade das perdas no abastecimento. Por mais que a metodologia utilizada pela empresa de, em geral, tentar reduzir a água não faturada para os 30% consiga resultados aceitáveis, podem não ser os resultados ótimos possíveis de alcançar em certas ZMCs. Por outro lado, o controlo diário dos caudais noturnos trata-se de uma excelente forma de gerir as perdas de água. No entanto, paralelamente a essa abordagem é fundamental a alternativa contrária para garantir fiabilidade face aos caudais mínimos noturnos, ou seja, o controlo dos caudais mínimos noturnos é imprescindível para o não agravamento de uma situação, mas dependendo do objetivo da intervenção, pode ser ainda mais prioritário determinar se os valores de referência que existem, correspondem a um valor justificável.

A implementação de algo deste género poderia auxiliar a estratégia de intervenção na gestão de redução de perdas no abastecimento de água realizado pela empresa, alertando e destacando as zonas mais críticas e carentes de intervenções, servindo então como base de apoio para as decisões eventualmente tomadas.

As redes de distribuição e as zonas de medição e controlo devem estar bem definidas no cadastro para automatizar os cálculos dos indicadores relativos ao abastecimento de água e ás características estruturais da rede.

A existência de uma modelação hidráulica informatizada da rede deveria ser uma das prioridades devido aos benefícios que podem ser adquiridos com a ferramenta. O controlo de pressão na rede já foi indicado como um dos pontos de mais importância no combate as perdas de água. Assim que o projeto de georreferenciação dos consumidores estiver concluído seria oportuna a construção de uma modelação hidráulica de forma a permitir uma melhor gestão das pressões na rede com base nos pontos de consumo. Com este tipo de ferramentas, torna-se mais fácil identificar e localizar zonas propicias a avarias, zonas estas que requeriam um controlo mais frequente por parte da equipa. Com a modelação, até se poderia resolver e perceber a necessidade de ajuste de pressão na rede, antes da ocorrência de diversas avarias.

Claro que apesar de tudo, a empresa deverá caminhar no sentido da inovação e da aquisição de equipamento capazes de fazer todo o controlo automaticamente e em tempo real – telegestão. Ainda assim, enfatiza-se a importância de uma base de dados constantemente atualizada e de qualidade. Estes métodos serão capazes de trazer meios de atuação mais eficazes e eficientes no combate as perdas de água.

Referências

Alegre, H., Coelho, T., Almeida, M., & Vieira, P. (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição*. Lisboa: LNEC IRAR INAG

Alves, C., Costa, A., Gomes, J., Peixoto, J., & Leite, S. (1999) *Micromedição. Programa nacional de combate ao desperdício de água*. Brasília: Documentos técnicos de apoio, Presidência da República.

Arregui, F., Cabrera, E., Cobacho, R., & García, J. (2005). *Key factors affecting water meter accuracy*. Canada: LEAKAGE, Halifax.

Arregui, F., Cabrera, E., Cobacho, R., & García-Serra, J. (2006) *Reducing apparent losses caused by meters inaccuracies*. London, UK: IWA Publishing.

Butler, D. (2009). *Leakage Detection and Management: A comprehensive guide to technology and practice in the water supply industry*. Halma Water Management.

Câmara Municipal de Penafiel. (2017, novembro). Juntas de Freguesia de Penafiel [Illustração]. Câmara Municipal de Penafiel. https://www.cm-penafiel.pt/wp-content/uploads/2017/11/municipio-juntas-de-freguesia-penafiel-1.jpg

Colarejo, J. (2011). *Contadores de água - Características gerais*. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.

Covas, D. (2008). *Gestão da eficiência dos sistemas - Controlo de perdas de água,* Lisboa: s.n.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (ERSAR, 2013). *Nota à imprensa - Água não faturada nos sistemas de abastecimento corresponde a 167 milhões de euros anuais*. Lisboa: s.n.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (ERSAR, 2019). Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal | 2019. Volume 1 – Caraterização do setor de águas e resíduos.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. (ERSAR, 2020). Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal | 2020. Volume 1 – Caraterização do setor de águas e resíduos.

Fantozzi, M., Criminisi, A., Fontanazza, C., Freni, G., & Lambert, A. (2008). *Investigations into underregistration of customer meters in Palermo (Italy) and the effect of introducing Unmeasured Flow Reducers*. Palermo.

Farley, M. (2001). *Leakage management and control – A best practice training manual*. Genebra: World Health Organization.

Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z., Istandar, A., Singh, S. (2008). The manager's non-revenue water handbook - *A guide to understanding water losses*. Tailândia: United States Agency for International Development (USAID).

Gomes, R. (2011). *Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.

Geneall. (2000). [Mapa do concelho de Penafiel]. Geneall. https://geneall.net/pt/mapa/207/penafiel/

Henriques J., Palma J., & Ribeiro Á. (2006). *Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas*. Lisboa: Série Guias Técnicos, Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

ITRON – Sistemas de Medição, LDA (2017). *Aquadis+* [Folheto] https://www.itron.com/-/media/feature/products/documents/brochure/aquadisplus-ci-pt-1017.pdf

Lambert, A. (2003). *Water Loss – IWA Task Force – Assessing non-revenue water and its components: A practical approach*. Water 21 Magazine. Londres: IWA Publishing.

Lambert, A. (2009). *Ten years experience in using the UARL Formula to calculate Infrastructure Leakage Index*. Cidade do Cabo, Africa do Sul: IWA Specialist Conference "Water Loss 2009".

Lencastre, A. (1996). *Hidráulica geral*. Coimbra: Gráfica de Coimbra.

Loureiro, D., Álvares, A., & Coelho, S. (2007). Aplicação de sistemas de telemetria domiciliária em sistemas de distribuição de água. In *Modelação de Sistemas de Abastecimento de Água, I Conferencia INSSAA*. Barcelos.

Martins, C. (2009). *Balanço hídrico e indicadores de desempenho no subsistema de abastecimento de água de São João de Lobrigos- Santa Marta de Penaguião*. https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/266/1/msc_cpfmartins.pdf

Martins, J. P. (2014). Management of Change in Water Companies: In Search of Sustainability and Excellence (1st ed.). IWA Publishing.

Medeiros, N., Loureiro, D., Mugeiro, J., Coelho, S., & Branco, L. (2007) *Concepção, instalação e exploração de sistemas de telemetria domiciliária para apoio à gestão técnica de sistemas de distribuição de água*. In *Modelação de Sistemas de Abastecimento de Água, I Conferencia INSSAA*. Barcelos.

Mutikanga, H.E. (2012). *Water Loss Management – Tools and methods for developing countries*. Dissertação de doutoramento. Delft University of Technology and Academic Board of UNESCO-IHE Institute for Water Education.

Penafiel Verde E.M. (2020a). Órgãos Sociais. Disponível em https://www.penafielverde.pt/conselho-de-administracao-e-organigrama/

Penafiel Verde E.M. (2020b). Relatório e Contas 2019. Disponível em https://penafielverde.pt/pdf2020/rel_2019.pdf

Pereira, L. (2007). *Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: O caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas.

Rizzo, A., Vermersch, M., Stephen, J., Micallef, G., Riolo, S., & Pace, R. (2007). *Apparent water loss control*: The Way Forward. - Edition of Water 21.

Sardinha, J., Serranito, F., Donnelly, A., Marmelo, V., Saraiva, P., Dias, N., Guimarães, R., Morais, D., & Rocha, V. (2017). *Controlo ativo de perdas de água*. Lisboa: EPAL.

Silva, B., Monteiro, C., Torres, C., Shinzato, E., Mokarzel, F., Guiboshi, M., Pellegrini, T. (2003). *Controle de perdas de água em sistemas de distribuição, Água em ambiente urbano*. São Paulo: Universidade de São Paulo.

Thornton, J., & Kunkel, G (2004). *Water loss control manual*. McGraw-Hill.

Anexo I – *Script* em *Python*

```
#biblioteca importada
import pandas as pd

#ficheiro a filtrar
excel_file_1 = 'mes.xlsx'

#ficheiro com a lista de todos os consumidores
excel_file_2 = 'consumidores.xlsx'

#leitura dos ficheiros para dataframes
df1 = pd.read_excel(excel_file_1)
df2 = pd.read_excel(excel_file_2)

#filtração com a comparação da condição (verifica os números dos
consumidores)
filtered_df1 = df1.loc[(df1['Consumidor:'].isin(df2['Consumidor:']))]

#novo ficheiro com a lista filtrada
filtered_df1.to_excel('lista_filtrada.xlsx')
```