



Mestrado em Engenharia Civil

Contributo para a eficiência do sistema de abastecimento de água de Montemor-o-Velho

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil
Especialização em Construção Urbana

Autor

Ana Filipa Ferreira Simões

Orientador

Prof. Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa

Professor do Departamento de Engenharia Civil
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Engenheira Catarina Costa

Município de Montemor-o-Velho

Coimbra, março, 2019

AGRADECIMENTOS

A conclusão do relatório de estágio marca o final de mais uma importante etapa da vida. Nesse sentido, não posso deixar de expressar aqui o meu profundo agradecimento a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao meu orientador, Professor Doutor Joaquim José de Oliveira Sousa, por tudo o que aprendi, que tão bem soube ensinar, pela disponibilidade, empenho e incentivo que foram essenciais ao longo destes meses.

À Engenheira Catarina Costa, e a todos os que tão bem me acolheram na Câmara Municipal de Montemor-o-Velho.

À minha colega e amiga, Adriana, pela amizade, partilha e companheirismo nesta jornada.

Aos meus amigos, Ana, Vanessa e Marcelo, pelo apoio e por todos os importantes momentos que passámos juntos.

À minha mãe, Silvia, pela determinação que tem e pela lutadora que é, pelo incentivo, confiança e amor que sempre demonstrou. Sem ti isto não seria possível!

Aos meus avós, José e Dulce, pelo apoio e por todo o carinho.

Ao Hugo, por ser o meu maior pilar na vida pessoal, e por ser o meu incentivo, a voz encorajadora e o ouvinte nos momentos em que mais precisei, ao longo de todo o percurso académico que agora se cessa.

A todos, um sincero muito obrigada!

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água são responsáveis pela produção e distribuição de um bem económico de grande valor que é a água para consumo humano. Qualquer entidade gestora tem necessidade de procurar um elevado grau de eficiência e de eficácia, em todos os campos relacionados com a gestão de sistemas de água, aperfeiçoando assim a sua qualidade de serviço e alcançando os seus objetivos, relativamente a essa mesma gestão dos sistemas. O bom funcionamento de qualquer sistema de distribuição de água prevê que os consumidores tenham continuamente à sua disposição, nos locais de consumo, água potável em quantidade suficiente, à pressão adequada e com o menor custo possível.

Esta problemática tem tomado a atenção do Município de Montemor-o-Velho, pelo que o presente trabalho surge com o objetivo de aumentar a eficiência hídrica e energética, do sistema que abastece a vila e alguns lugares vizinhos.

Este trabalho tem como principal objetivo a modelação e calibração de um modelo de simulação do sistema de distribuição de água em análise, para obter informações úteis para uma melhor gestão da rede. Um modelo, depois de calibrado pode tornar-se um instrumento bastante útil como ferramenta de apoio à gestão de um sistema de distribuição de água. Para atingir este objetivo, recorreu-se ao *WaterNetGen*, um modelo computacional de simulação hidráulica baseado no *Epanet 2.0*.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento de água, Controlo de perdas de água, Modelação hidráulica, *WaterNetGen*, *Epanet2.0*.

ABSTRACT

Water supply systems are responsible for the production and distribution of a valuable economic good that is water for human consumption. Any management entity needs to seek a high degree of efficiency and effectiveness in all fields related to the management of water systems, this improves her quality of service and makes her achieve her goals related to systems management. The proper functioning of any water distribution system requires that consumers, continuously, have sufficient drinking water at their disposal at the appropriate pressure and at the lowest possible cost.

This problem has taken the attention of the Municipality of Montemor-o-Velho, so the present work appears with the objective of increasing the water and energy efficiency of the system that supplies the village and some neighboring places.

This work has as main objective the modeling and calibration of a simulation model of the water distribution system under analysis, to obtain useful information for a better management of the network. A calibrated model can become a very useful instrument as a tool to support the management of a water distribution system. To achieve this objective, we used *WaterNetGen*, a hydraulic simulation model based on *Epanet 2.0*.

Keywords: Water supply systems, Control of water losses, Hydraulic modeling, *WaterNetGen*, *Epanet2.0*.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
ÍNDICE	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xix
SIMBOLOGIA	xi
ACRÓNIMOS	xxiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Descrição do problema	1
1.2. Objetivos do trabalho	2
1.3. Estrutura do relatório	3
2. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	5
2.1. Constituição de um sistema de abastecimento de água	5
2.2. Eficiência Hídrica - A importância do combate às perdas de água	10
2.3. Perdas de água	11
2.3.1. Perdas de água aparentes	11
2.3.2. Perdas de água reais	12
2.4. Métodos de quantificação de perdas	13
2.4.1. Balanço hídrico	13
2.4.2. Monitorização do caudal mínimo noturno (CMN)	17
2.5. Nível económico de perdas (NEP)	19
2.6. Controlo de perdas de água	23
2.6.1. Zona de Medição e Controlo (ZMC)	24
2.6.2. Campanhas de deteção e localização de fugas	25
2.6.2.1. Métodos de localização aproximada	25
2.6.2.2. Métodos de localização/deteção exata	28
2.7. Eficiência Energética	31

3. MODELAÇÃO MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	35
3.1. Planificação do desenvolvimento do modelo	36
3.2. Construção de modelos	37
3.2.1. Caracterização física do sistema	37
3.2.2. Representação da infraestrutura física num modelo	38
3.2.2.1. Método de geração manual dos dados	38
3.2.2.2. Método de geração dos dados a partir de desenhos CAD	39
3.2.2.3. Método de geração dos dados a partir de um SIG	39
3.2.3. Consumos e caudais	39
3.2.3.1. Especificação dos consumos num modelo	40
3.2.3.2. Métodos para distribuição espacial do consumo-base pelos nós	40
3.2.4. Determinação de padrões de consumo	42
3.3. Calibração de modelos	42
3.3.1. Medição de parâmetros para calibração de modelos	44
3.3.1.1. Medição de pressão	44
3.3.1.2. Medição de caudal	45
3.3.2. Processo de calibração	46
3.3.3. Resultados da calibração	46
4. CASO DE ESTUDO	49
4.1. O sistema de abastecimento do município de Montemor-o-Velho	49
4.2. Combate às perdas de água reais	53
4.3. Construção do modelo hidráulico	54
4.4. Calibração do modelo hidráulico	58
4.5. Análise de resultados	66
4.5.1. Análise de pressões na rede de distribuição de água de Montemor	66
4.5.2. Análise do consumo de energia elétrica do grupo de bombagem do reservatório Sargaço	67
5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de água na Terra (Sardinha <i>et al.</i> , 2017).....	1
Figura 2 - Constituição de um sistema de abastecimento de água (Elementos de apoio às aulas de “Hidráulica Aplicada I”, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/142389/mod_resource/content/1/HA%201%20-%20Cap%C3%ADtulo%203%20-%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20sistemas%20de%20abastecimento%20de%20%C3%A1gua.pdf (acedido em 28-04-2018)).....	5
Figura 3 - Furo vertical para captação de água subterrânea (Imagem cedida pelo Professor Joaquim Sousa).....	6
Figura 4 - Sistema de captação de água superficial na barragem de Castelo do Bode (Imagem retirada do site ESTRUTOVIA).....	6
Figura 5 - Estação de Tratamento de Água de Areias de Vilar (Imagem retirada do site Águas do Norte).....	7
Figura 6 - Fases de tratamento da água para consumo humano (Adaptação de imagem do site Águas do Norte).....	7
Figura 7 - Sistema de adução de Morgavél (Imagem retirada do site Campo d'Água).....	7
Figura 8 - Reservatório elevado de duas células (Imagem cedida pelo Professor Joaquim Sousa).....	8
Figura 9 - Diferentes tipos de reservatórios de água (Elementos de apoio às aulas de “Hidráulica Aplicada I”, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/147592/mod_resource/content/1/HA%201%20-%20Cap%C3%ADtulo%209%20-%20Armazenamento.pdf (acedido em 28-04-2018)).....	8
Figura 10 - Tipos de rede de distribuição de água (Imagem cedida pelo Professor Joaquim Sousa).....	9
Figura 11 - Tubos de PVC (Imagem retirada do site MF Rural).....	9
Figura 12 - Tubos de PEAD (Imagem retirada do site PEVEDUTO).....	10
Figura 13 – Componentes do balanço hídrico de um sistema de abastecimento de água (Alegre <i>et al.</i> , 2005).....	14
Figura 14 - Nível económico de perdas reais (Gomes, 2011).....	20
Figura 15 - Nível económico de perdas aparentes (Gomes, 2011).....	20
Figura 16 - Nível económico de perdas (Gomes, 2011).....	22

Figura 17 - Relação entre o nível económico de perdas e o nível de intervenção (Gomes, 2011).....	22
Figura 18 - Setorização de um sistema de distribuição de água (Gomes, 2011).....	24
Figura 19 - Esquema de subzonamento de uma ZMC com instalação de contadores provisórios (Sardinha <i>et al.</i> , 2017)	26
Figura 20 - <i>Step Test</i> (Martinho, 2013)	27
Figura 21 - Acelerómetros Primayer Phocos 2 (Martinho, 2013)	28
Figura 22 - Geofone (Imagem retirada do site SANESOLUTI)	29
Figura 23 - Vareta de escuta <i>Mikron</i> da Primayer (Martinho, 2013)	29
Figura 24 - <i>SmartBall</i> (Imagem retirada do site Pure Technologies).....	30
Figura 25 - <i>Sahara</i> (Imagem retirada do site Pure Technologies)	30
Figura 26 - Consequência ambiental da redução de perdas de água	32
Figura 27 - Faseamento do desenvolvimento de um modelo de simulação (Coelho <i>et al.</i> , 2006).....	37
Figura 28 - Atribuição dos consumos da conduta aos nós inicial e final (Coelho <i>et al.</i> , 2006).....	40
Figura 29 - Representação das zonas abrangidas pelos vários sistemas no concelho de Montemor-o-Velho (Imagem retirada do site do Município de Montemor-o-Velho).....	50
Figura 30 - Vista aérea da zona estudada, Montemor-o-Velho e Quinhendros (Imagem retirada do Google Maps).....	51
Figura 31 - Esquema do sistema de distribuição de água em estudo (Imagem cedida pela CMMV)	52
Figura 32 - Localização das fugas detetadas, assinaladas no GoogleMaps.....	53
Figura 33 - Sistema de distribuição de água desenhado no AutoCAD	55
Figura 34 - Sistema de distribuição de água já convertido para <i>WaterNetGen</i>	55
Figura 35 - Propriedades que é necessário inserir para cada nó e para cada troço no <i>software WaterNetGen</i> . (Imagem extraída do <i>software WaterNetGen</i>).....	56
Figura 36 - Distinção das zonas de leitura de Montemor-o-Velho.....	57
Figura 37 - Tarifário de energia elétrica (Diagrama extraído do <i>software WaterNetGen</i>).....	57
Figura 38 - Transdutor de pressão T1.....	58
Figura 39 - Transdutor de pressão T2.....	58

Figura 40 - Transdutor de pressão T3.....	59
Figura 41 - Transdutor de pressão T4.....	59
Figura 42 - Localização dos transdutores de pressão instalados na rede.....	60
Figura 43 – Pressões de serviço na rede, obtidas através de simulação (Imagem extraída do software <i>WaterNetGen</i>).....	67
Figura 44 - Relógio temporizador de programação semanal, para instalação em quadros elétricos.....	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Associação dos T instalados aos nós do modelo e respetivas cotas.....	60
Tabela 2 - Valores médios resultantes da calibração de pressão do modelo, para os diferentes T e reservatórios, os observados e os respetivos erros médios absolutos e o desvio padrão (Tabela extraída do <i>software WaterNetGen</i>).....	63
Tabela 3 - Comparação entre os valores de caudal medidos e os obtidos na simulação (Tabela extraída do <i>software</i>	64
Tabela 4 – Relatório do consumo de energia das bombas do reservatório Sargaço, com as regras de funcionamento atualmente em vigor (Tabela extraída do <i>software WaterNetGen</i>)..	68
Tabela 5 - Relatório do consumo de energia das bombas do reservatório Sargaço, com as novas regras de operação (Tabela extraída do <i>software WaterNetGen</i>).....	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado de <i>Step Test</i> em ZMC (Sardinha <i>et al.</i> , 2017).....	27
Gráfico 2 - Perfis de pressões registadas, no dia 27 de maio 2017, pelos transdutores de pressão instalados	61
Gráfico 3 - Pressões no nó 2. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação	61
Gráfico 4 - Pressões no nó 3. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação	62
Gráfico 5 - Pressões no nó 4. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação	62
Gráfico 6 - Pressões no nó 5. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação	63
Gráfico 7 - Valores de pressão média observada e simulada nos diferentes pontos de instalação dos T e nos reservatórios (Gráfico extraído do software <i>WaterNetGen</i>)	64
Gráfico 8 - Comparação entre os valores de caudal medidos e simulados (Gráfico extraído do software <i>WaterNetGen</i>)	65
Gráfico 9 - Caudal à saída do reservatório Cavalinha. Comparação entre o valor medido e simulado	65
Gráfico 10 - Caudal à saída do reservatório S. Gens. Comparação entre o valor medido e simulado	66
Gráfico 11 - Nível de água disponível no reservatório Cavalinha. Comparação entre o valor medido e simulado.....	68
Gráfico 12 - Nível de água disponível no reservatório Cavalinha. Simulação com novas regras de operação	69
Gráfico 13 - Nível de água disponível no reservatório S. Gens. Comparação entre o valor medido e simulado.....	71
Gráfico 14 - Nível de água disponível no reservatório S. Gens. Simulação com novas regras de operação	71

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Componentes do balanço hídrico (Alegre <i>et al.</i> , 2005).....	16
Quadro 2 – Componentes do CMN (Gomes, 2011)	18

SIMBOLOGIA

kPa – quilopascal

kW – quilowatt

kWh – quilowatt hora

m – metro

m³ – metro cúbico

m c.a. – metro coluna de água

W – watt

ACRÓNIMOS

ANF – Água Não Faturada

CAD – Computer-Aided Design

CMMV – Câmara Municipal de Montemor-o-Velho

CMN – Caudal Mínimo Noturno

EE – Estação de Elevação

EG – Entidade Gestora

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Água Residual

FC – Fibrocimento

FFD – Ferro Fundido Dúctil

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

IWA – *International Water Association*

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NEP – Nível Económico de Perdas

NEPa – Nível Económico de Perdas Aparentes

NEPr – Nível Económico de Perdas Reais

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PNUEA – Plano Nacional para o Uso Eficiente da Água

PVC – Policloreto de Vinilo

RASARP – Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal

RGSPDADAR – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SIG – Sistema de Informação Geográfica

T – Transdutor

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

WRc – *Water Research Centre*

ZMC – Zona de Medição e Controlo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Descrição do problema

É do conhecimento geral que a água se trata de um recurso natural que é essencial a todas as formas de vida. Desde há muito tempo desenvolve um papel fundamental no seio das populações como na alimentação, na higiene, na produção de energia, na indústria, etc..

Na Figura 1 descreve-se a distribuição de água existente no nosso planeta. Em mais de três quartos da superfície do planeta podemos encontrar água em estado líquido nos oceanos e em rios e lagos, em grandes massas de gelo nas calotas polares e em forma de vapor presente na atmosfera.

Durante muitos anos, acreditou-se que a água era um recurso infinito e renovável, uma vez que parecia existir na Natureza com grande abundância. No entanto, apesar desta abrangente dispersão de água pelo planeta, apenas 2,5% dela é água doce.

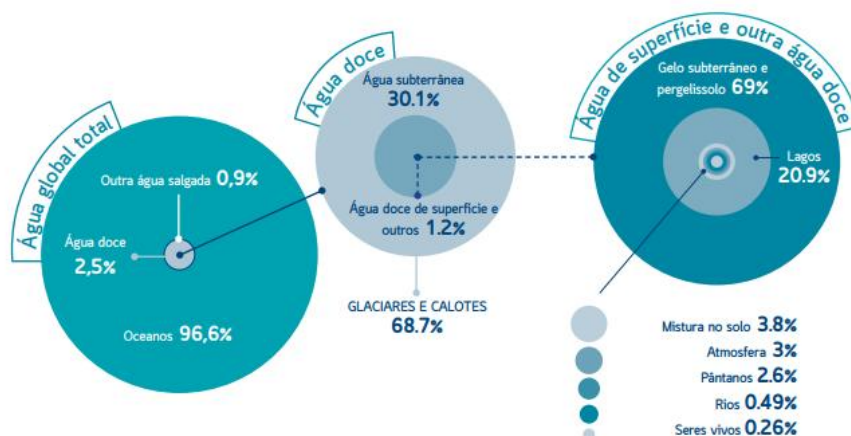


Figura 1 - Distribuição de água na Terra (Sardinha *et al.*, 2017)

Com o crescimento exponencial da população mundial, para a qual se estima um aumento de 4 mil milhões de habitantes para além dos 7 mil milhões existentes até ao fim do século XXI, aliado à má distribuição populacional, devido às grandes concentrações em zonas costeiras, prevê-se que aumente o stresse hídrico em diversas áreas do globo o que nos alerta para a importância de gerir eficientemente os sistemas de abastecimento de água de forma a preservar o recurso hídrico.

A nível nacional, segundo o Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal (RASARP) relativo ao ano de 2016, publicado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), no âmbito da avaliação da qualidade dos serviços públicos de

abastecimento de água, revelou que, em média, cerca de 30% do volume de água captado, tratado e distribuído pelos sistemas de abastecimento não é faturado. Esta é uma “situação preocupante” pela “falta de sustentabilidade do sistema” e por “já se arrastar há muitos anos”, disse a vice-presidente da associação ambientalista ZERO, Carla Graça, em entrevista ao Diário de Notícias em março de 2017.

Quando traduzimos esta percentagem, pelos cálculos da associação, ela representa uma verba de 235 milhões de euros ao ano de prejuízo para os municípios, pois trata-se de 240 milhões de metros cúbicos de água ao ano que se tratam e se perdem, segundo dados da ERSAR.

Perante estes números, a diminuição da parcela que constitui a água não faturada (ANF) ganha grande importância, sabendo-se que é um trabalho a realizar diariamente e que poderá resultar em repercussões positivas para as entidades gestoras (EG), o consumidor e acionistas, a diferentes níveis:

- **Ambiental:** pois, na prática, traduz-se num aumento das disponibilidades de água, que permite evitar a necessidade de recorrer a novas origens de água para responder ao aumento de solicitações, tais como a construção de barragens, novos furos, captações ou mesmo à dessalinização, e/ou reduzir caudais captados, consumos de energia e de reagentes utilizados no tratamento de água, baixando a emissão de dióxido de carbono e a pegada ecológica da EG;
- **Económico-financeiro:** a redução de ANF resulta em diminuição de custos de energia, necessária na captação, tratamento e armazenamento necessários para a obtenção de água potável e evita custos de expansão, caso fosse necessário recorrer a novas origens de água;
- **Social:** torna-se possível realizar acertos nos tarifários privilegiando assim o cliente.

A redução do volume de água a captar do meio hídrico pode constituir a alternativa viável para garantir a continuidade e a qualidade do abastecimento, implicando a implementação de programas de redução das perdas, conjugados com técnicas de gestão da procura e de conservação da água e com programas de sensibilização pública e do cliente.

1.2. Objetivos do trabalho

O combate a fugas e perdas é, nos dias de hoje, um passo essencial para alcançar a eficiência para qualquer entidade gestora. É com o objetivo de alcançar uma melhor eficiência, por parte do Município de Montemor-o-Velho, que este trabalho surge.

O estágio será regido segundo estes objetivos específicos:

- Constituir zonas de medição e controlo (ZMC);
- Monitorizar caudais e pressões nas redes de distribuição;
- Adquirir conhecimentos sobre técnicas e equipamentos para controlo de perdas reais;
- Acompanhar/realizar atividades de deteção/localização de fugas e respetiva reparação;

- Construir um modelo de simulação hidráulica do sistema.

1.3. Estrutura do relatório

Com o intuito de atingir os objetivos referidos anteriormente, este relatório foi estruturado em cinco capítulos.

No presente capítulo, é abordada de uma forma muito resumida, a importância da água para consumo humano e o crescimento da procura por este bem essencial. Sublinha-se a dimensão do volume de água que se perde nos sistemas de distribuição de água em todo o país. É também apresentada neste capítulo, uma contextualização do tema do relatório, assim como os objetivos propostos.

No capítulo 2, encontra-se descrita a caracterização dos sistemas de distribuição de água. Essa caracterização assenta essencialmente na descrição dos vários componentes de um sistema de distribuição de água, o seu respetivo funcionamento e exploração, e a caracterização do tipo de perdas e métodos para minimização de perdas de água.

O terceiro capítulo descreve a simulação hidráulica, apresentando o *software Epanet 2.0* e as suas funcionalidades, o modo de construção de um modelo e a respetiva calibração, por ser este a base do *software* utilizado, *WaterNetGen*.

No quarto capítulo, apresenta-se o caso de estudo, descrevendo-se o sistema de distribuição em observação, as medidas de combate às perdas de água reais aplicadas, os processos necessários para a construção do modelo hidráulico e a respetiva calibração. Por fim, faz-se a apresentação dos resultados e a análise dos mesmos.

No capítulo 5, sintetizam-se as principais conclusões consequentes da realização deste trabalho, apontando algumas direções possíveis para futuros trabalhos a desenvolver, enquadrados no tema abordado.

2. SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

2.1. Constituição de um sistema de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento de água (SAA), Figura 2, é constituído por um conjunto de infraestruturas necessárias à produção e distribuição de um bem de grande valor que é a água para consumo humano. A cada uma destas partes correspondem-lhe órgãos, constituídos por obras de construção civil, equipamentos elétricos e eletromecânicos, acessórios, instrumentação e equipamentos de automação e controle. Cada órgão num sistema de abastecimento e distribuição de água tem um objetivo/função (Sousa, 2001).

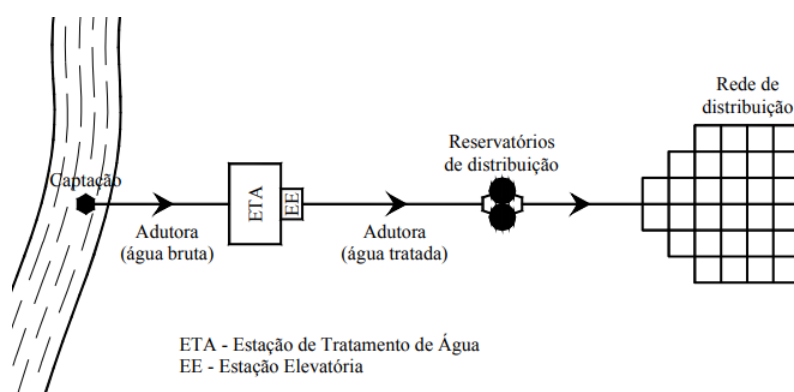


Figura 2 - Constituição de um sistema de abastecimento de água (Elementos de apoio às aulas de “Hidráulica Aplicada I”, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/142389/mod_resource/content/1/HA%201%20-%20Cap%C3%ADtulo%203%20-%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20sistemas%20de%20abastecimento%20de%20%C3%A1gua.pdf (acedido em 28-04-2018))

O sistema de captação tem como função recolher água em quantidade suficiente para assegurar as necessidades de abastecimento e com características físicas, químicas e bacteriológicas minimamente aceitáveis de acordo com a legislação vigente. Essa água pode encontrar-se em aquíferos, no subsolo, e é obtida através de captações subterrâneas, Figura 3, ou provém de rios, lagos e barragens onde a captação é feita de forma superficial, Figura 4.



Figura 3 - Furo vertical para captação de água subterrânea (Imagem cedida pelo Professor Joaquim Sousa)



Figura 4 - Sistema de captação de água superficial na barragem de Castelo do Bode (Imagem retirada do site ESTRUTOVIA)

A estação de elevação (EE) transmite energia à água, de modo a que ela passe não só a circular a uma pressão conveniente, como também a ter a possibilidade de vencer desníveis topográficos e a garantir as pressões necessárias nos pontos de consumo.

Na estação de tratamento de água (ETA), Figura 5, é assegurada a condição da mesma, em termos de características físicas, químicas e bacteriológicas, que se compatibilize com as exigências legais em vigor para fins de consumo humano. Os processos de tratamento aplicados, Figura 6, dependem, essencialmente, das características da água bruta.



Figura 5 - Estação de Tratamento de Água de Areias de Vilar (Imagem retirada do site Águas do Norte)



Figura 6 - Fases de tratamento da água para consumo humano (Adaptação de imagem do site Águas do Norte)

As adutoras, Figura 7, transportam a água, geralmente sem serviço de percurso, para as estações de tratamento e para as zonas de consumo, por vezes muito afastadas do local de captação. Designam-se por adutoras de água bruta, quando se destinam ao encaminhamento antes de a água ter sido tratada, ou por adutoras de água tratada, após o tratamento.



Figura 7 - Sistema de adução de Morgavel (Imagem retirada do site Campo d'Água)

O armazenamento é feito em reservatórios, Figura 8, que têm como função armazenar a água por períodos variáveis, seja para regularização dos caudais, devido às diferentes solicitações de consumo durante o decorrer do dia, seja para garantir reservas de incêndio e avaria.



Figura 8 - Reservatório elevado de duas células (Imagem cedida pelo Professor Joaquim Sousa)

Os reservatórios podem ser de vários tipos: enterrados, semienterrados, apoiados ou elevados; como se ilustra na Figura 9.

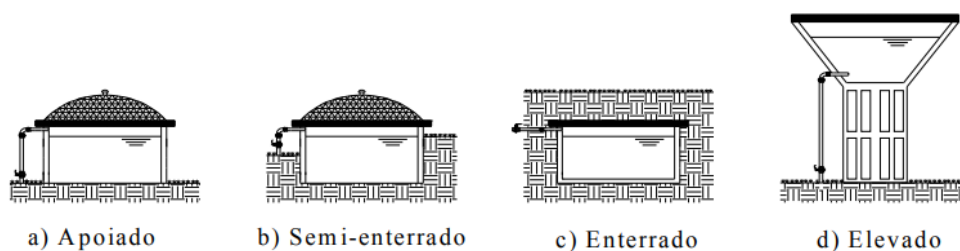


Figura 9 - Diferentes tipos de reservatórios de água (Elementos de apoio às aulas de “Hidráulica Aplicada I”, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/147592/mod_resource/content/1/HA%201%20-%20Cap%C3%ADtulo%209%20-%20Armazenamento.pdf (acedido em 28-04-2018))

A rede de distribuição pública, como o próprio nome indica, tem por objetivo fazer a distribuição de água na zona a abastecer, garantindo pressões e caudais convenientes nos diversos pontos de consumo. Podem ser caracterizadas, tendo em conta o seu traçado, como sendo do tipo ramificadas, emalhadadas ou mistas, Figura 10.

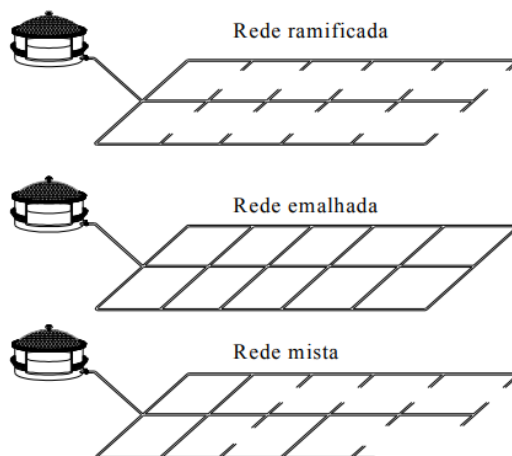


Figura 10 - Tipos de rede de distribuição de água (Imagem cedida pelo Professor Joaquim Sousa)

Os materiais mais usados nas tubagens são o policloreto de vinilo (PVC), Figura 11, o polietileno de alta densidade (PEAD), Figura 12, e o ferro fundido dúctil (FFD), há ainda tubagens, em redes mais antigas, em fibrocimento (FC), material que já não se aplica em condutas novas.



Figura 11 - Tubos de PVC (Imagem retirada do site MF Rural)

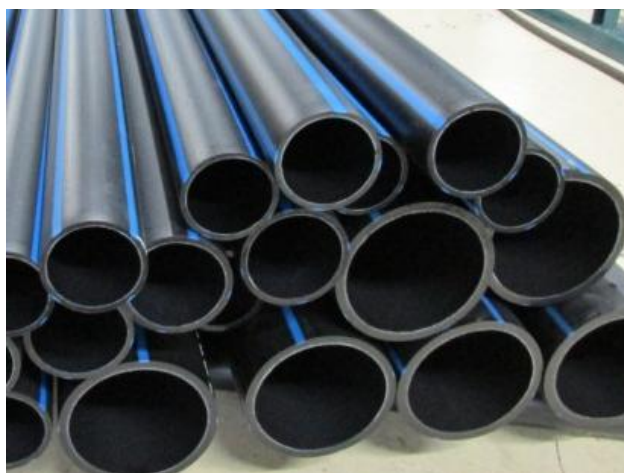


Figura 12 - Tubos de PEAD (Imagem retirada do site PEVEDUTO)

2.2. Eficiência Hídrica - A importância do combate às perdas de água

A maneira como se aborda, hoje em dia, esta problemática, que vem cada vez mais a ganhar dimensão e atenção entre o censo comum, é influenciada por diversos aspetos, tais como: o nível de desenvolvimento económico do país; a consciência ambiental; as prioridades políticas dos governos; o nível empresarial das EG e até mesmo os hábitos culturais das populações. Cada um destes fatores define-se como influenciador nas escolhas das estratégias de intervenção para o respetivo controlo e redução de perdas de água (Sardinha *et al.*, 2017).

As mudanças na postura, em relação às questões da água, que se têm vindo a registar, apontando a regulação do setor da água e, até, a criação de planos de apoio a países em desenvolvimento, têm contribuído para aumentar a atenção para este tema e dessa forma obter uma intervenção cada vez mais orientada para a redução das perdas de água (Sardinha *et al.*, 2017).

Os desafios impostos pelas novas políticas de poupança de água e pela perceção de um cliente mais exigente, a cada dia que passa, constituem-se como incentivos, para os governos e as EG, para que estes coloquem em prática as medidas de controlo e combate às perdas de água convenientes, que permitam melhorar o desempenho dos seus sistemas, e que demonstrem ser determinantes na obtenção da sustentabilidade ambiental e económica, resultando na melhoria global do serviço disponibilizado (Sardinha *et al.*, 2017).

É importante ter em consideração, no conceito de perda, a sua dimensão em termos económicos, sublinhando que todos os seus custos associados, desde a captação, tratamento, armazenamento e distribuição, não são retornáveis, apesar de não se considerar desperdício, pois a água retorna para a bacia hidrográfica, de onde pode voltar a entrar no sistema (Sardinha *et al.*, 2017).

A definição e implantação de uma estratégia de combate às perdas de água são justificadas pelas principais razões (Sardinha *et al.*, 2017):

- Maior eficiência na gestão com benefícios em termos de redução de custos de operação e de capitais;
- Redução do stresse ecológico;
- Melhorias na medição e faturação - uma vez que uma menor ocorrência de roturas e melhor nível de desempenho podem ter resultados positivos no valor das fugas aparentes;
- Diminuição de danos estruturais - uma vez que as fugas podem causar espaços vazios no subsolo e, conseqüentemente, danos em estradas e edifícios;
- Redução da carga nos esgotos - visto que a água perdida normalmente se infiltra no sistema de saneamento e conseqüentemente aumenta o caudal aflúente às estações de tratamento de águas residuais (ETAR);
- Melhoria da satisfação do cliente através da melhoria da qualidade do serviço e da garantia de água em quantidade, qualidade e pressão suficientes - uma vez que as fugas e roturas podem resultar numa diminuição da pressão;
- A redução dos riscos para a saúde e uma maior segurança no abastecimento – já que a proximidade do esgoto e outros poluentes é real e a infiltração de um destes poluentes no sistema de abastecimento de água para consumo humano através de roturas pode resultar em doenças, no caso de sistemas com baixa pressão e, sobretudo, de operação intermitente.

2.3. Perdas de água

As perdas de água correspondem à diferença entre o volume de água introduzido no sistema e o consumo autorizado, e são divididas em dois grupos: o das perdas reais e o das perdas aparentes.

2.3.1. Perdas de água aparentes

As perdas aparentes correspondem a volumes não consumidos que não são devidamente contabilizados e não são atribuíveis a fugas, designam-se, também, por perdas económicas ou comerciais. Este grupo é constituído por duas componentes: consumos não autorizados e imprecisões na medição dos consumos, que podem incluir erros de medição e/ou falhas no tratamento dos dados. Os consumos não autorizados incluem o uso ilícito por ligações ilegais ou roubos causados por uma utilização abusiva de hidrantes e bocas-de-incêndio. As ligações legítimas, para além, de suscetíveis a erros de medição, podem também originar perdas aparentes provenientes da faturação não informada, não registada na base de dados, ou informada mas não acionada de forma intencional ou acidental (Sardinha *et al.*, 2017).

Sublinho os erros de medição que podem ocorrer e contribuir para a existência de perdas aparentes (Alegre *et al.*, 2005):

- Erros de medição dos contadores em condições normais de medição;

- Erros de medição por deficiente dimensionamento ou instalação;
- Erros de leitura ou registo;
- Erros de medição por avaria (“natural” ou por violação do equipamento);
- Leituras em falta devido a dificuldade de acesso aos contadores (dentro das habitações).

A fatia da ANF associada às perdas aparentes é, por norma, elevada e a sua deteção difícil, exigindo um controlo e esforços rigorosos por parte da EG. Cabe a esta definir procedimentos, a médio e longo prazo, com propósito de combater a ocorrência destas perdas (Carvalho, 2014).

2.3.2. Perdas de água reais

As perdas reais, também designadas por perdas físicas, correspondem ao volume de água perdido na rede e nas infraestruturas de uma EG. Estas perdas provêm de fugas em condutas, de adução ou distribuição, ou nos ramais de ligação, de fugas nas paredes e/ou pavimento dos reservatórios e do extravasamento dos mesmos. Para um conhecimento mais aprofundado das perdas reais, identificam-se as suas componentes (Alegre *et al.*, 2005):

- **Perdas de base-** ocorrem através de pequenas fugas, indetetáveis com os equipamentos de deteção correntemente disponíveis; são tipicamente caracterizadas por caudais baixos, longa duração e grandes volumes;
- **Perdas por fugas e roturas reportadas-** são tipicamente caracterizadas por caudais altos, curta duração e volumes moderados;
- **Perdas por fugas e roturas passíveis de identificação através da deteção ativa de fugas-** são tipicamente caracterizadas por caudais médios e duração e volumes dependentes da política de controlo ativo de perdas seguida;
- **Fugas e volumes de extravasamento em reservatórios.**

As perdas podem ser visíveis ou invisíveis, sendo que, na segunda hipótese, podem existir durante um período temporal indeterminado, que pode-se prolongar demasiado, sem que sejam detetadas. A dimensão da perda de água é influenciada pelas características das infraestruturas do sistema e da sua envolvente, pela estratégia de deteção e reparação de fugas, pela gestão de operação e pela política e práticas da EG (Sardinha *et al.*, 2017).

Os possíveis fatores influenciadores para a ocorrência de perdas reais são (Alegre *et al.*, 2005):

- O estado das condutas e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e de roturas;
- A pressão de serviço média, quando o sistema está pressurizado;
- A densidade e comprimento médio de ramais;
- A localização do medidor domiciliário no ramal;

- O comprimento total de condutas;
- O tipo de solo e as condições do terreno, relevantes sobretudo no modo como se torna aparente ou não a ocorrência de roturas e fugas;
- A percentagem de tempo em que o sistema está pressurizado (fator muito relevante em regiões com abastecimento intermitente).

Estes fatores são discutidos detalhadamente pela IWA (*International Water Association*) (Alegre *et al.*, 2005). De todos eles, realça-se a influência das pressões de serviço, as quais devidamente monitorizadas e geridas influenciam fortemente as perdas no sistema, sabendo que pressões elevadas (Sardinha *et al.*, 2017):

- Implicam maior quantidade de água consumida, quer pelas roturas quer pelos clientes;
- Estão associadas a uma maior taxa de avarias/roturas em condutas e acessórios;
- Aumentam a probabilidade de ocorrência de regimes transitórios hidráulicos, nomeadamente no arranque e paragem de grupos elevatórios e na manobra de válvulas de seccionamento. Os regimes transitórios hidráulicos podem provocar roturas em condutas, deslocar blocos de ancoragem ou danificar juntas.

As variações de pressão significativas e recorrentes criam num sistema de abastecimento de água uma maior tendência para a ocorrência de fadiga em tubagens e acessórios, principalmente quando constituídos por materiais plásticos. Por outro lado, valores de pressão elevados tornam-se uma mais-valia em campanhas de deteção acústica de fugas, pois o nível de ruído provocado pelo escape de água, que se propaga pelas condutas e órgãos da rede, é maior e torna a deteção mais eficiente (Sardinha *et al.*, 2017).

2.4. Métodos de quantificação de perdas

2.4.1. Balanço hídrico

A determinação do volume de água perdido num SAA é, sem dúvida, um indicador indispensável da eficiência de um sistema e uma boa medida de avaliação do desempenho de uma EG, quando realizada anualmente e de forma sistemática, sendo recomendado que este seja calculado para um período de 12 meses, de modo a minimizar os efeitos de inevitavelmente haver desfasamentos entre os intervalos de leituras dos diversos medidores de caudal (Alegre *et al.*, 2005).

A importância do controlo das perdas de água faz com que, na maior parte dos casos, as auditorias tenham como principal objetivo quantificar a dimensão desta componente, e isso direciona-as sobretudo para a realização de balanços hídricos.

Contudo, o balanço hídrico não deve ser tido em conta caso se pretenda comparar a eficiência com outras EG ou entre zonas do mesmo sistema com características distintas, pois este método não tem em conta os fatores específicos de cada sistema, que por sua vez estão diretamente relacionados com as perdas de água, entre os quais: o material e comprimento das

condutas, topografia, densidade de ramais, solicitação do sistema, pressão média de serviço quando o sistema se encontra pressurizado, qualidade de manutenção e operação do sistema, frequência e duração média de roturas, entre outros.

Os conceitos básicos associados às componentes do balanço hídrico são preconizados pela IWA (Alegre *et al.*, 2005).

Na Figura 13 encontra-se ilustrado o balanço hídrico de um sistema de abastecimento, definindo-se as principais entradas e saídas de água, desde que é captada a água bruta até que chega ao consumidor (Alegre *et al.*, 2005).

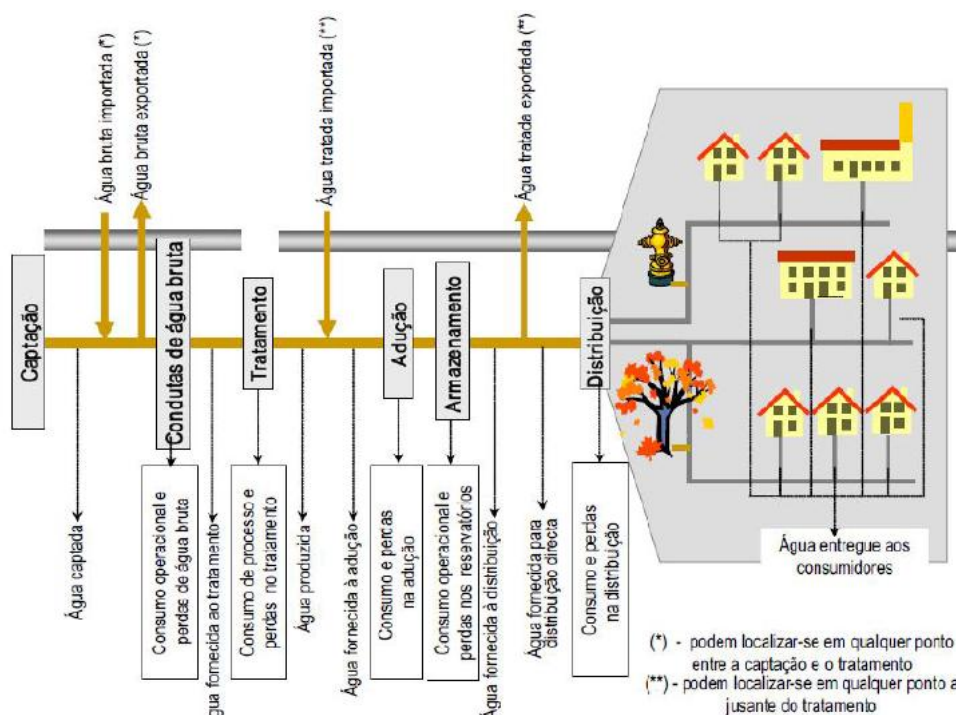


Figura 13 – Componentes do balanço hídrico de um sistema de abastecimento de água (Alegre *et al.*, 2005)

De forma a compreender os termos utilizados na análise do balanço hídrico, ilustrados pela figura anterior, apresentam-se as definições dos mesmos (Alegre *et al.*, 2005):

- **Água captada:** volume anual de água obtida a partir de captações de água bruta para entrada em estações de tratamento de água (ou diretamente em sistemas de adução e de distribuição);
- **Água bruta, importada ou exportada:** volume anual de água bruta transferido de ou para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento);
- **Água fornecida ao tratamento:** volume anual de água bruta que afluí às instalações de tratamento;
- **Água produzida:** volume anual de água tratada que é fornecida às condutas de adução ou diretamente ao sistema de distribuição (o volume anual de água sem tratamento prévio

que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como água produzida);

- **Água tratada, importada ou exportada:** volume anual de água tratada transferido de ou para o sistema (o volume anual de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como água tratada);
- **Água fornecida à adução:** volume anual de água tratada que aflui ao sistema de adução;
- **Água fornecida para distribuição:** volume anual de água tratada que aflui ao sistema de distribuição;
- **Água fornecida para distribuição direta:** volume de água correspondente à diferença entre a água fornecida para distribuição e a água tratada exportada (sempre que não seja possível separar a adução da distribuição, a água fornecida para distribuição direta corresponde à diferença entre a água fornecida à adução e a água tratada exportada);
- **Água entrada no sistema:** volume anual introduzido na parte do sistema de abastecimento de água que é objeto do cálculo do balanço hídrico;
- **Consumo autorizado:** volume anual de água, medido ou não medido, faturado ou não, fornecido a consumidores registados, a outros que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo para usos domésticos, comerciais ou industriais e à própria entidade gestora. O consumo autorizado inclui a água exportada;
- **Perdas de água:** volume de água correspondente à diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado. As perdas de água podem ser calculadas para todo o sistema ou para subsistemas, como sejam a rede de água não tratada, o sistema de adução, o sistema de distribuição ou zonas do sistema de distribuição. Em cada caso as componentes do cálculo devem ser consideradas em conformidade com a situação. As perdas de água dividem-se em perdas reais e perdas aparentes;
- **Perdas reais:** volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, do caudal e da duração média de cada fuga;
- **Perdas aparentes:** esta parcela das perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado (por furto ou uso ilícito);
- **Água não faturada:** volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da água entrada no sistema e do consumo autorizado faturado. A água não faturada inclui não só as perdas reais e as perdas aparentes, mas também o consumo autorizado não faturado.

No Quadro 1 apresenta-se a forma como se relacionam as componentes descritas anteriormente, no cálculo do balanço hídrico de um SAA, e este é aplicável às suas diversas secções (por exemplo, redes de água bruta, de adução ou de distribuição). As definições apresentadas são expressas em volumes anuais, por ser esta a base aconselhável para a

realização de auditorias de perdas e por facilidade de exposição, logo, ao existirem dados para o cálculo do balanço hídrico num formato ou terminologia diferente do referido, terá de ser realizada a sua conversão, facilitando, assim, o cálculo de qualquer indicador de desempenho (Alegre *et al.*, 2005).

Quadro 1 - Componentes do balanço hídrico (Alegre *et al.*, 2005)

	A	B	C	D	E	
Água entrada no sistema [m ³ /ano]	Consumo autorizado [m ³ /ano]	Consumo autorizado facturado [m ³ /ano]	Consumo facturado medido (incluindo água exportada) [m ³ /ano]	Consumo facturado não medido [m ³ /ano]	Água facturada [m ³ /ano]	
			Consumo autorizado não facturado [m ³ /ano]			Consumo não facturado medido [m ³ /ano]
		Perdas de água [m ³ /ano]	Perdas aparentes [m ³ /ano]	Perdas reais [m ³ /ano]	Consumo não facturado não medido [m ³ /ano]	Água não facturada (perdas comerciais) [m ³ /ano]
					Uso não autorizado [m ³ /ano]	
	Erros de medição [m ³ /ano]					
	Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]					
	Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição [m ³ /ano]					
	Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) [m ³ /ano]					

Os passos básicos para calcular o balanço hídrico de um SAA, e consequentemente estimar a ANF e as perdas de água, são os seguintes (Alegre *et al.*, 2005):

Passo 0: Definir os limites exatos do sistema (ou setor de rede) a auditar; definir as datas de referência (definindo um período de um ano);

Passo 1: Determinar o volume de água entrada no sistema e introduzi-lo na Coluna A;

Passo 2: Determinar o consumo faturado medido e o consumo faturado não medido e incluir na Coluna D; introduzir o total destes como consumo autorizado facturado (Coluna C) e como água facturada (Coluna E);

Passo 3: Calcular o volume de água não faturada (Coluna E) subtraindo a água faturada (Coluna E) à água entrada no sistema (Coluna A);

Passo 4: Definir o consumo não faturado medido e o consumo não faturado não medido na Coluna D; registar o total em consumo autorizado não faturado (Coluna C);

Passo 5: Somar os volumes correspondentes ao consumo autorizado faturado e ao consumo autorizado não faturado da Coluna C; introduzir o resultado como consumo autorizado (Coluna B);

Passo 6: Calcular as perdas de água (Coluna B), como a diferença entre a água entrada no sistema (Coluna A) e o consumo autorizado (Coluna B);

Passo 7: Avaliar, usando os melhores métodos disponíveis, as parcelas do uso não autorizado e dos erros de medição (Coluna D), somá-las e registar o resultado em perdas aparentes (Coluna C).

Passo 8: Calcular as perdas reais (Coluna C) subtraindo as perdas aparentes (Coluna C) às perdas de água (Coluna C).

Passo 9: Avaliar as parcelas das perdas reais (Coluna D) usando os melhores métodos disponíveis (análise de caudais noturnos, dados de medição zonada, cálculos de frequência / caudal / duração das roturas, modelação de perdas baseadas em dados locais sobre o nível-base de perdas, etc.), somá-las e comparar com o resultado das perdas reais (Coluna C).

Ao aplicar este método de avaliação rapidamente se verifica que, por haver componentes que são quantificadas por estimativa, como é o caso das perdas aparentes, obter um balanço hídrico de exatidão razoável é difícil (Alegre *et al.*, 2005).

2.4.2. Monitorização do caudal mínimo noturno (CMN)

Este método consiste na interpretação do caudal durante o período noturno, no qual, por norma, os consumos existente são menores (Alegre *et al.*, 2005). Esses consumos são, por norma, facilmente medidos e/ou estimados (Gomes, 2011).

O principal objetivo da aplicação deste método é conseguir fazer uma estimativa das várias componentes das perdas. Consequentemente, a identificação e eliminação das ligações ilícitas existentes e dos erros de leitura associados à imprecisão dos contadores, assim como o correto conhecimento das características das redes são cruciais para a obtenção de resultados mais exatos (Gomes, 2011)

No período de CMN, o qual se pode definir entre a 1 e as 5 horas da manhã, em zonas predominantemente residenciais, a variação dos seus consumos noturnos não se mostra significativa (Gomes, 2011). No entanto, quando existem indústrias em funcionamento ou reservatórios que reestabelecem os seus níveis durante este período, podem ocorrer picos de

consumo inesperados (Ferreira, 2017). Por esta razão é aconselhável definir uma hora como período mínimo de referência e realizar a monitorização para, pelo menos, 7 dias consecutivos, devido ao facto de cada dia da semana poder apresentar o seu consumo próprio (Gomes, 2011).

Relativamente às roturas, sabendo-se que a sua ocorrência é afetada por fatores como: a pressão de serviço, a idade, o material e o estado de conservação das condutas e seus acessórios; torna bastante imprevisível. Na análise do CMN, um aumento inesperado e excessivo no volume de água medido à entrada do sistema durante este período de baixo consumo, poderá simbolizar a existência de ligação clandestina ou rotura, permitindo que seja localizada e reparada com brevidade, tanta quanto possível (Gomes, 2011).

O Quadro 2 apresenta as componentes associadas ao CMN (Gomes, 2011):

Quadro 2 – Componentes do CMN (Gomes, 2011)

Caudal mínimo noturno [m ³ /h]	Caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega * [m ³ /h]	Consumo medido e/ou estimado [m ³ /h]	Grandes consumos não domésticos [m ³ /h]
			Pequenos consumos não domésticos [m ³ /h]
			Consumos domésticos [m ³ /h]
	Perdas a montante do ponto de entrega * [m ³ /h]	Perdas no ramal de ligação a jusante do ponto de entrega [m ³ /h]	Perdas reais [m ³ /h]
		Perdas no ramal de ligação a montante do ponto de entrega [m ³ /h]	
		Perdas na rede de distribuição [m ³ /h]	
Serviço de manutenção, lavagem de filtros e limpeza de reservatórios [m ³ /h]			

* Ponto de entrega: corresponde aos limites de propriedade e/ou contadores.

A terminologia recomendada para as componentes apresentadas anteriormente é definida pela *UK Water Industry* (Gomes, 2011):

- **Caudal mínimo noturno:** Caudal à entrada do sistema ou subsistema durante o período de menor consumo (geralmente entre a 1 e as 5 horas da madrugada);
- **Caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega:** Caudal medido/estimado no ponto de entrega durante o período de menor consumo;
- **Perdas a montante do ponto de entrega:** Diferença entre o caudal mínimo noturno e o caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega (corresponde às perdas no ramal de ligação a montante do ponto de entrega, e, ainda, às perdas na rede de distribuição, armazenamento, adução e tratamento);

- **Consumo medido e/ou estimado:** Corresponde ao somatório do consumo autorizado, medido e/ou estimado, ao nível do ponto de entrega (diz respeito aos grandes consumos não domésticos, pequenos consumos não doméstico e consumos domésticos);
- **Perdas reais:** Diferença entre o caudal mínimo noturno e o consumo medido e/ou estimado (inclui as perdas de água a montante e a jusante do ponto de entrega);
- **Perdas no ramal de ligação a jusante do ponto de entrega:** Corresponde à diferença entre o caudal medido e/ou estimado no ponto de entrega e o consumo medido e/ou estimado (diz respeito ao volume das perdas de água na rede predial, a jusante do contador).

Tendo definidas componentes como o consumo existente e as perdas de água medidos/estimados durante o período CMN, torna-se possível, posteriormente, fazer uma extrapolação desses valores para as restantes horas do dia, tendo em conta a variação das pressões que ocorrem em período noturno e diurno (Gomes, 2011).

2.5. Nível económico de perdas (NEP)

A supressão por completo das perdas de água num sistema de abastecimento é um objetivo praticamente impossível do ponto de vista técnico, económico-financeiro e social, entre outras mais. O que acontece na realidade é que existe um determinado nível, o chamado NEP, a partir do qual o benefício obtido com a redução das perdas começa a ser inferior aos encargos económicos acarretados pelo controlo ativo de perdas (Cortês, 2015).

Para que se consiga alcançar o NEP, teremos que atingir, em simultâneo, o Nível Económico de Perdas Reais (NEPr), e o Nível Económico de Perdas Aparentes (NEPa). O NEP divide-se assim em duas componentes distintas devido ao facto dos procedimentos necessários para minimizar de erros de medição e de consumos não contabilizados serem diferentes dos que se mostram necessários para minimizar as perdas reais, como se pode observar nas Figuras 14 e 15. A identificação das medidas a implementar para redução de perdas aparentes mostra-se mais fácil que as necessárias para as perdas reais, obrigando à realização de uma análise custo-benefício para definir as intervenções mais convenientes a realizar e a prioridade que devem tomar (Alegre *et al.*, 2005).

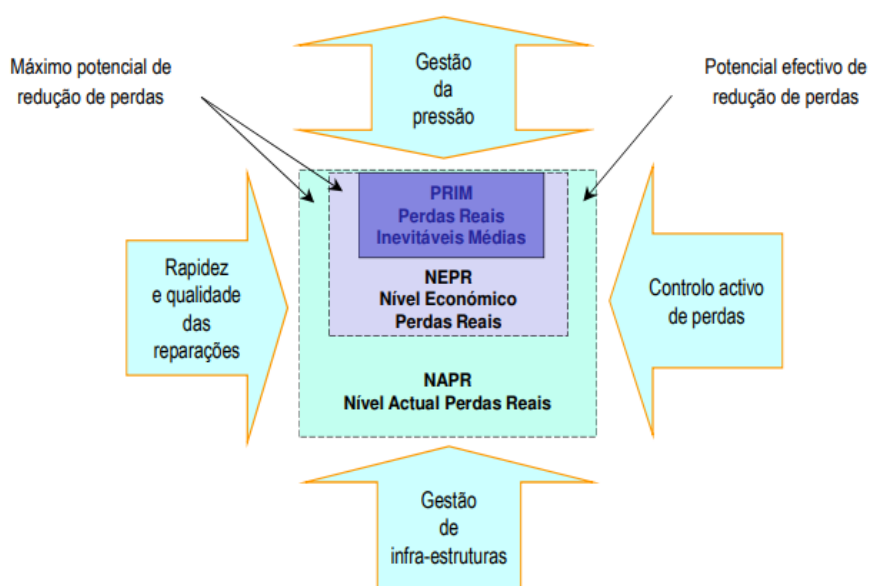


Figura 14 - Nível económico de perdas reais (Gomes, 2011)

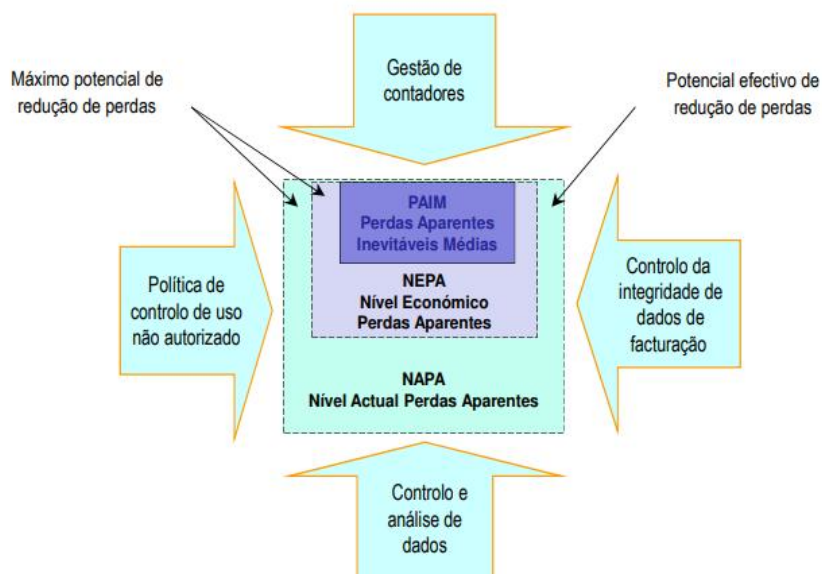


Figura 15 - Nível económico de perdas aparentes (Gomes, 2011)

Em termos técnicos, o controlo de perdas reais, pela sua maior complexidade face ao das perdas aparentes, afeta o NEPr através dos seguintes fatores (Alegre *et al.*, 2005):

- Custo de mão-de-obra;
- Custo da água;
- Pressão de serviço;
- Idade e estado de conservação das tubagens;

- Tipologia das roturas;
- Método (s) utilizado (s) para controlo de fugas — quanto mais dispendioso for, num valor mais alto resultará o NEPr.

Ou seja, o valor do NEPr, toma valores diferentes de rede para rede, ao longo do tempo, dependendo da frequência de roturas, do valor que a água toma (que varia com o decorrer do tempo), das técnicas de deteção e reparação adotadas, sendo também afetado por alterações de operação da rede como por exemplo a pressão de serviço (Alegre *et al.*, 2005).

Desta forma, é imperativo que todas e quaisquer ações desenvolvidas no sentido de reduzir as perdas de água num sistema, devem fazer parte de um programa de desenvolvimento contínuo para o qual devem ser analisados o custo/benefício, a disponibilidade de recursos e do período de retorno do capital a investir. Um fator condicionante relevante, para as EG, é que nem todas apresentam a mesma disponibilidade de recursos humanos e financeiros. Desta forma, é importante que estabeleçam, para cada sistema, o denominado NEP tendo em consideração condicionantes como, por exemplo, as medidas de combate às perdas que devem e podem ser adotadas até que se demonstre ser economicamente viável continuar a sua implementação (Gomes, 2011).

A Figura 16 apresenta o gráfico que relaciona o custo anual que toma a implementação de medidas de combate a perdas com o nível de perdas diárias, para uma EG. Pode-se observar que, com o aumento da quantidade de perdas de água reais, o custo total da água, para a EG, aumenta, e os custos relacionados com o programa de controlo ativo de perdas diminuem, dado que o esforço necessário para obter um nível de perdas elevado é reduzido. Se contrariamente as perdas no sistema diminuírem, realça-se que no custo do controlo ativo de perdas isso resulta num aumento exponencial (Cortês, 2015). O NEP representa assim o ponto mínimo que a curva do custo total toma, curva que resulta da soma da curva do custo do controlo ativo de perdas e da curva do custo da água perdida (Fernandes, 2014).

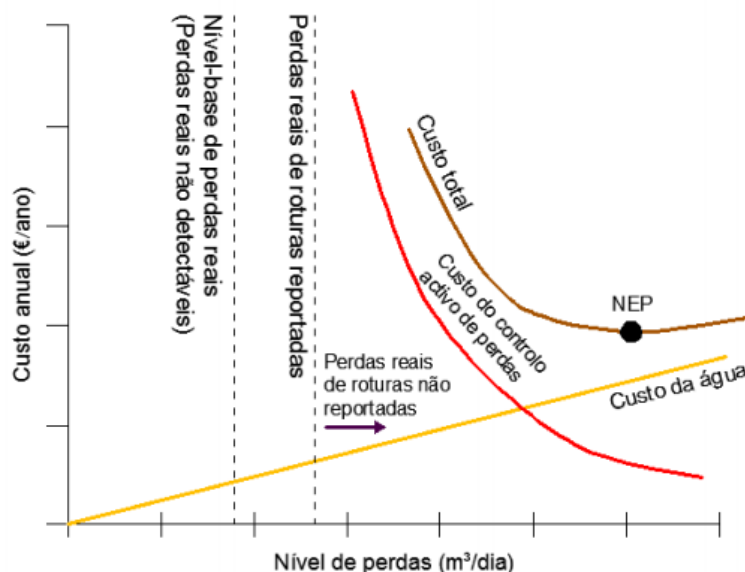


Figura 16 - Nível económico de perdas (Gomes, 2011)

Destacando, de novo, a existência dos diversos fatores que contribuem para definição do NEP, e a sua variação ao longo do tempo, sublinha-se que as curvas descritas são curvas dinâmicas (Cortês, 2015). Uma vez atingido o NEP é importante mantê-lo em níveis considerados viáveis e convenientes, do ponto de vista económico, através da adoção de programas de monitorização contínua de todas as variáveis suscetíveis de o influenciar. Sempre que o valor de perdas atinja, ou ultrapasse, o que se encontra estabelecido como sendo o valor aceitável que este pode tomar (o qual se define pela igualdade entre o valor das perdas e o valor dos custos de intervenção no sistema) é imperativo que se atue no sentido de identificar as suas causas, e proceder à localização e reparação das perdas (Gomes, 2011). Esta relação entre o nível de intervenção e o NEP encontra-se representado na Figura 17.

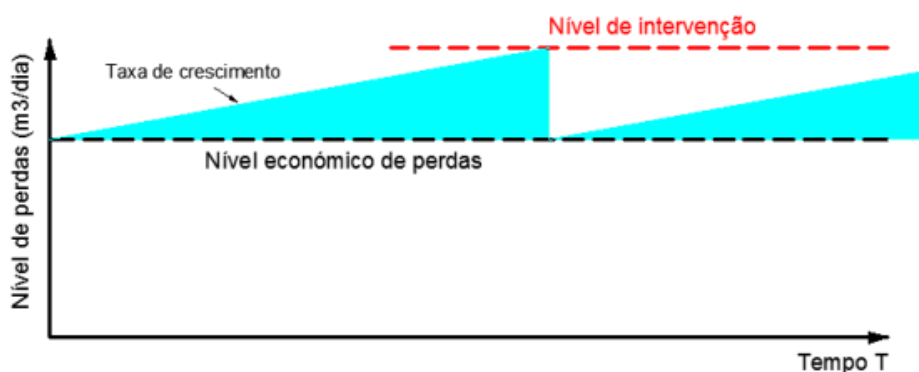


Figura 17 - Relação entre o nível económico de perdas e o nível de intervenção (Gomes, 2011)

2.6. Controlo de perdas de água

O controlo de perdas de água pode ser classificado como controlo ativo ou controlo passivo.

O controlo passivo prevê a resolução de ocorrências quando estas são reportadas, como no caso de, passo os exemplos, ocorrer um abastecimento deficiente devido a pressões demasiado baixas ou por surgir uma rotura visível (Sardinha *et al.*, 2017). A atuação nestes casos é breve, pois produzem impactos negativos na opinião pública no que diz respeito à imagem da EG. Contudo, esta abordagem não permite alcançar valores de eficiência notáveis, pois a parcela de perdas resultantes de roturas visíveis representam apenas a “ponta do iceberg”, quando se fala do volume de água perdido pelas roturas não visíveis que, por não serem reportadas ou detetadas, podem tomar valores avultados (Gomes, 2011).

Para se alcançar a eficiência, é necessário implementar um controlo ativo de perdas. Esta forma de atuar, que prevê a realização de campanhas de deteção de fugas regulares e, até, a monitorização contínua do sistema de abastecimento, permite a resolução de um problema, na sua fase inicial (Sardinha *et al.*, 2017)

Sempre que haja indícios, na monitorização, da possível ocorrência de uma rotura, e, para que a campanha de deteção de perdas de água tenha o êxito esperado, é indispensável definir as prioridades de intervenção, adequando os equipamentos e técnicas de pesquisa em função das mesmas. O primeiro passo deve basear-se na redução da área de atuação da pesquisa de forma a direcionar a equipa de inspeção para uma zona próxima, tanto quanto possível, das roturas procuradas. Para isso, podem ser adotadas técnicas de localização aproximada, tais como (Gomes, 2011):

- A medição zonada ou sectorização da rede em ZMC;
- O subzonamento de ZMC;
- O fecho progressivo de válvulas (*Step Test*);
- A utilização de *Loggers* acústicos, que nos últimos anos têm vindo a ganhar grande reputação.

Após a diminuição da área de atuação, podem ser adotadas técnicas de localização mais precisa, tais como (Gomes, 2011):

- Equipamentos de sondagem acústica (haste de escuta, geofone, hidrofone, correlador acústico, *Sahara* e *SmartBall*);
- Injeção de traçadores;
- Inspeção visual das infraestruturas;
- Utilização de sensores térmicos;
- Utilização de radares de penetração no solo.

Independentemente da técnica aplicada, nenhuma demonstra ser totalmente fiável, o que dificulta o sucesso das campanhas, pois todas elas são dependentes do tipo de equipamento usado, da técnica adotada e da experiência do operador (Gomes, 2011).

2.6.1. Zona de Medição e Controlo (ZMC)

A gestão e exploração dos SAA podem ser dificultadas devido à quantidade de dados a processar de acordo com a sua constituição, que por norma, apresentam um elevado número de ramais, condutas, válvulas e hidrantes, cujas características dos mesmos podem ser bastantes diversificadas e, também, devido à distribuição geográfica que estes elementos apresentam.

A criação de uma ZMC consiste na sectorização da rede, ou seja, a divisão da rede em sectores de menor dimensão com fronteiras conhecidas, bem delimitadas e fixas (Figura 18), onde são totalmente controláveis todas as entradas e saídas de caudal, com a realização de campanhas periódicas ou contínuas de medição de caudal e pressão com vista à avaliação de perdas. As ZMC podem ter dimensões muito variadas dependendo da topologia da rede, densidade populacional e densidade de ramais (Alegre *et al.*, 2005).

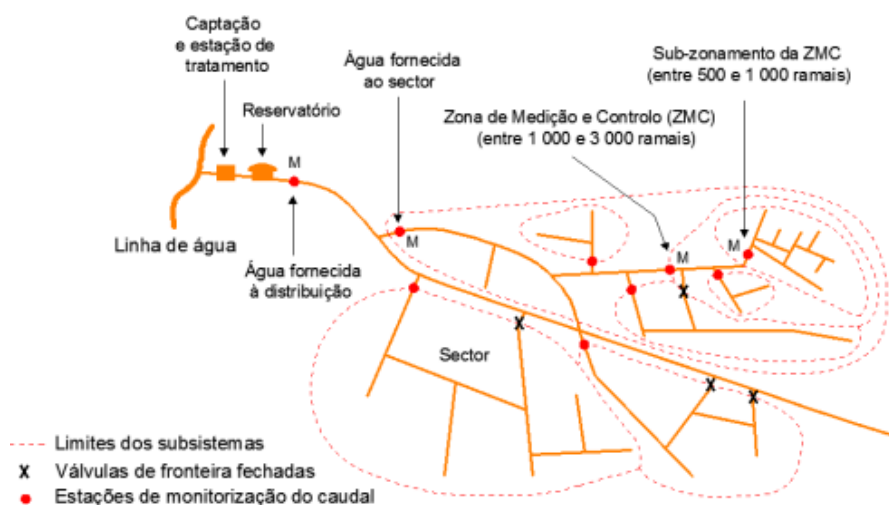


Figura 18 - Setorização de um sistema de distribuição de água (Gomes, 2011)

Com a criação de ZMC, facilmente, se obtém uma comparação entre a medição dos caudais entrados e saídos nas ZMC, incluindo os caudais consumidos, o que permite determinar o volume das perdas de água em cada ZMC e identificar as mais problemáticas. Pode, assim ser aplicado qualquer método para avaliação de perdas dos dois, falados anteriormente:

- O cálculo do balanço hídrico, também denominado como método volumétrico;
- O método dos caudais mínimos noturnos.

2.6.2. Campanhas de deteção e localização de fugas

Após detetada, ou que seja provável, a existência de fugas no sistema de abastecimento, pressupõem-se que seja colocada em ação a definição da estratégia a seguir para definir a sua localização e reparação, com brevidade (Sardinha *et al.*, 2017). Para tal, existem dois grandes conjuntos de métodos que permitem localizar as fugas:

- Meios físicos;
- Modelos matemáticos computacionais.

Os meios físicos dividem-se em:

- i. Métodos de localização aproximada
- ii. Métodos de localização exata

2.6.2.1. Métodos de localização aproximada

- Subzonamento ou subdivisão da ZMC

Este procedimento consiste na divisão temporária da rede de distribuição de água ou ZMC, Figura 19, onde se suspeita a existência de fugas, devido à identificação de um consumo considerado excessivo, sendo os princípios de aplicação em tudo idênticos aos adotados para a medição zonada. Esta técnica de deteção permite que o abastecimento de água continue assegurado durante a sua aplicação.

A aplicação do método é recomendada sobretudo para sistemas ou ZMC de grande dimensão. Consiste no fecho de algumas válvulas internas, criando alteração na configuração da forma da ZMC em estudo. Caso não existam os elementos de monitorização necessários, a EG pode optar por instalar provisoriamente medição dos caudais nas zonas isoladas ou simplesmente optar por não dispor dessa informação, analisando a reação nos caudais na ZMC em estudo (Sardinha *et al.*, 2017).

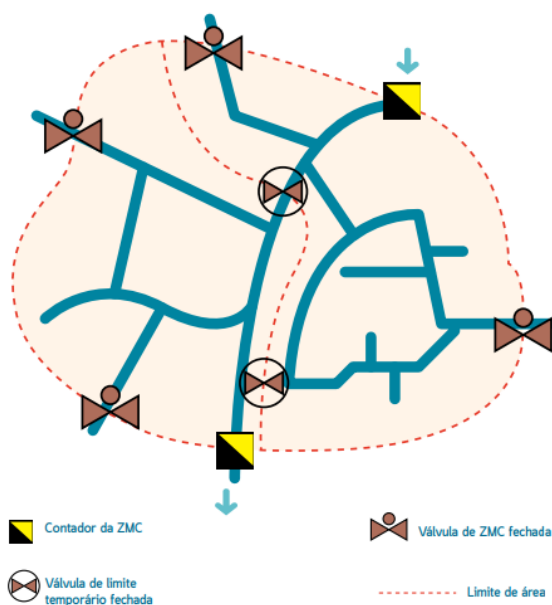


Figura 19 - Esquema de subzonamento de uma ZMC com instalação de contadores provisórios (Sardinha *et al.*, 2017)

Gomes, 2011, afirma que, “geralmente, a medição de caudais é efetuada durante o período noturno (durante uma ou mais noites), principalmente se esta operação tiver consequências ao nível do funcionamento da rede, do consumo ou na normal circulação pedonal ou rodoviária. Em alternativa podem ser usados medidores de caudal portáteis, para controlar o caudal afluente/efluente a uma determinada zona da rede. Em qualquer dos casos, este procedimento acaba por ter um carácter temporário, reestabelecendo as normais condições de funcionamento assim que se dê por alcançados os objetivos tenham sido estabelecidos”.

- Teste de fecho progressivo de válvulas ou *Step Test*

O *Step Test*, Figura 20, consiste no registo contínuo do caudal à entrada do sistema ou ZMC enquanto se faz fecho e abertura de válvulas de secionamento, de jusante para montante, de forma a isolar pequenos setores da rede, facilitando a localização de roturas. Este método implica a consequente supressão do abastecimento de água, pelo que é aconselhável que seja realizado durante as horas de menor consumo, as quais se verificam no período noturno (Gomes, 2011).

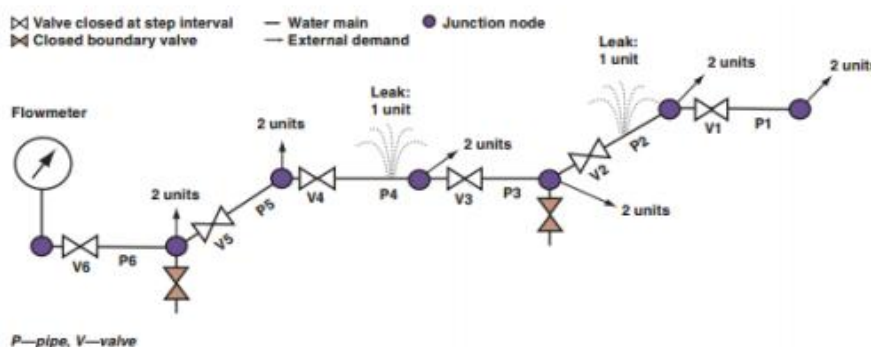
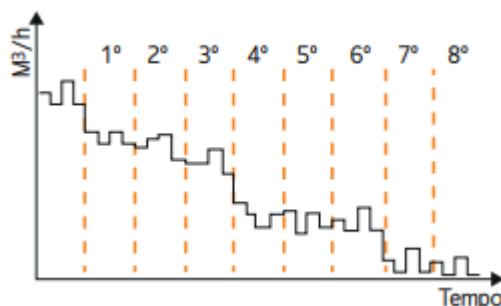


Figura 20 - Step Test (Martinho, 2013)

Assim que se procede ao fecho de mais um setor da rede, o caudal que passa pelo caudalímetro é medido e comparado com o valor anterior e a diferença de caudais entre eles é registada (Martinho, 2013). Os registos obtidos são tratados e usados para construir um gráfico, como o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Resultado de Step Test em ZMC (Sardinha *et al.*, 2017)

Após o fecho da válvula, deve-se aguardar a estabilização do caudal, e, então, calcular a diferença e proceder à análise da diferença de caudal resultante do fecho desse troço.

Quando a quebra registada não se apresenta compatível com a redução do número e tipo de utilizadores na área isolada, grande é a probabilidade de esta estar relacionada com a presença de fugas que devem ser localizadas recorrendo a técnicas de pesquisa mais precisas (Gomes, 2011).

- *Acelerómetros/ Loggers* acústicos

Esta técnica baseia-se na medição de ruído, criado pela rotura e que se propaga pelas tubagens, com recurso a acelerómetros, Figura 21, que são aparelhos acústicos. Através da correlação do nível de ruído medido entre os vários dispositivos é possível identificar o troço onde se localiza a rotura.

Quanto maior for a proximidade entre o acelerómetro e o local da fuga, maior será o nível de ruído registado (Martinho, 2013).

A distribuição dos acelerómetros deve ser feita em intervalos regulares e de forma a abranger a área onde se assume a possível existência de fugas. Geralmente, colocam-se de modo a que

estes fiquem em contacto direto com a infraestrutura ou com acessórios metálicos, fixando-se pela base magnética integrada, razão pela qual são frequentemente instalados nos contadores dos clientes ou em acessórios da rede de distribuição, mais propriamente em válvulas de seccionamento, bocas de rega, bocas-de-incêndio, marcos de incêndio e ventosas (Gomes, 2011).

A aplicação do método é feita, normalmente, durante a noite, pois o ruído ambiente é menor, ruído este que pode interferir na obtenção de resultados mais exatos, principalmente quando o ruído proveniente da rotura não é o suficientemente para que seja detetado (Ferreira, 2017).



Figura 21 - Acelerómetros Primayer Phocos 2 (Martinho, 2013)

2.6.2.2. Métodos de localização/deteção exata

- Geofone

O geofone, Figura 22, à semelhança do acelerómetro, permite a deteção de uma rotura através do ruído provocado pela mesma, que se propaga, não só pelos materiais constituintes da rede, mas também, pelo solo envolvente (Martinho, 2013).

Recomenda-se que seja utilizado quando o ruído ambiente é reduzido e quando a pressão hidráulica na tubagem for maior, características que se verificam mais fáceis de obter em horas de menor consumo de água, ou seja, no período noturno. O geofone é um equipamento de sondagem de superfície, diretamente acima da tubagem onde as características do solo ou do pavimento existente o permitam. Dependendo dessas características e das características da própria rotura, o ruído será mais ou menos audível (Martinho, 2013).



Figura 22 - Geofone (Imagem retirada do site SANESOLUTI)

- Vareta eletrónica de escuta

A vareta de escuta, Figura 23, é também um equipamento que localiza as roturas através de captação das ondas acústicas que se propagam através da água e das paredes das condutas.

Numa primeira fase da deteção de roturas, poderá ser utilizada a vareta de escuta para obter uma aproximação da localização das mesmas, pois permite apenas averiguar a rede nos pontos acessíveis, ou seja, através dos seus acessórios (por exemplo, contador, válvulas, bocas de rega, bocas-de-incêndio, marcos de incêndio ou ventosas) (Martinho, 2013).



Figura 23 - Vareta de escuta *Mikron* da Primayer (Martinho, 2013)

- *SmartBall*

A *SmartBall*, Figura 24, é uma bola de espuma cujo núcleo de alumínio se encontra equipado com um sensor acústico de alta sensibilidade, capaz de detetar e localizar as fugas de dimensão reduzida. Este equipamento percorre a rede através do fluxo da água, e, enquanto isso, recolhe informação relativa às roturas identificadas no percurso (Martinho, 2013).

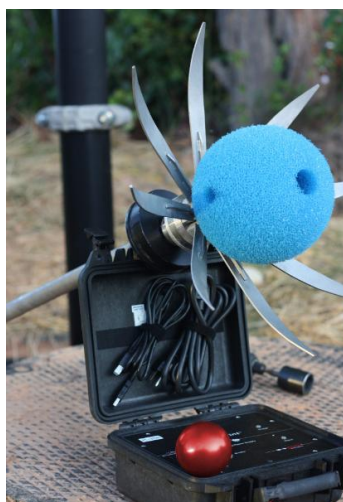


Figura 24 - *SmartBall* (Imagem retirada do site Pure Technologies)

O diâmetro da *SmartBall* é selecionado tendo em conta várias características, tais como o diâmetro da conduta, localização das válvulas e o próprio desenho da rede. É recomendada que a dimensão do equipamento seja inferior a um terço do valor do diâmetro da conduta a ser inspecionada. No fim de realizado o ensaio, a *SmartBall* deverá ser retirada com o auxílio de uma pequena rede (Martinho, 2013).

- *Sahara*

O *Sahara*, Figura 25, assim como os equipamentos já analisados, utiliza também o ruído para detetar as roturas em condutas de grande diâmetro (segundo a *Water Research Centre (WRC)*, condutas com mais de 100mm de diâmetro) (Martinho, 2013).

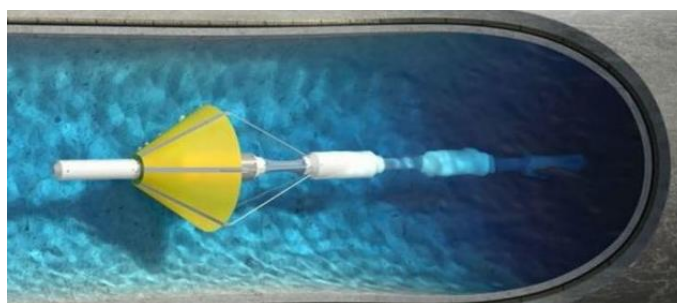


Figura 25 - *Sahara* (Imagem retirada do site Pure Technologies)

Segundo Martinho, 2013, este equipamento “usa um sensor acústico para localizar o ruído gerado pela água em pressão que sai pela tubagem através das roturas ou fugas. Este sensor, após ser introduzido na conduta, desloca-se com a corrente graças ao pequeno para-quadras que o impulsiona. À superfície o operador transporta um dispositivo de rastreamento que permite saber a posição exata do sensor no interior da conduta. Caso seja escutada uma rotura, esta é identificada e localizada pelo operador do sistema”.

- Injeção de Gás Traçador

Embora não se trate de uma opção corrente, devido ao risco de contaminação, no passado, a injeção de traçadores na rede foi bastante usada, para fugas de difícil localização.

O método consiste na injeção de hidrogénio industrial na conduta, gás que apresenta capacidade de passar através de fendas de dimensões muitíssimo reduzidas. O gás ao passar pela fenda é detetado através de um detetor eletrónico, assim que este intercepta a posição da fuga (Cortês, 2015).

- Sensores Térmicos

Os sensores térmicos permitem, como o próprio nome indica, através da alteração das características térmicas do solo em redor do local da fuga, identificar a existência de roturas numa conduta. Estas alterações podem ser captadas através de câmaras de infravermelhos, por exemplo (Cortês, 2015).

- Radar de Penetração no Solo

O movimento da água proveniente de uma fuga cria vácuo, no solo perto da conduta, na zona em que esta se localiza, e esse fenómeno pode ser detetado com um radar. As ondas do radar penetram no solo e são refletidas quando existe uma alteração das características ditas normais. Essa reflexão revela uma imagem do tamanho e da forma da cavidade. A determinação da localização da fuga é feita com base no tempo entre a emissão e a reflexão (Cortês, 2015).

2.7. Eficiência Energética

Segundo Teixeira, 2015, “a energia e a água encontram-se rigorosamente interligadas, pois trata-se de elementos básicos para a vida, para o desenvolvimento socioeconómico sustentável, para o bem-estar da população e para o progresso tecnológico. Independentemente do nível de desenvolvimento da população, as necessidades de água e energia crescem exponencialmente gerando uma maior pressão sobre os recursos hídricos, posto que quase todas as formas de energia carecem de uma determinada quantidade de água como parte do seu processo de produção e, uma vez que, para recolher água do seu meio necessitamos de energia”.

Simultaneamente à aplicação do controlo ativo das perdas de água, a minimização do consumo de energia para além do estritamente necessário à satisfação das necessidades dos consumidores, constitui uma medida fundamental para que a exploração dos sistemas de

abastecimento de água, por parte da EG, sejam mais eficientes e racionais do ponto de vista económico e ambiental (Figura 26) (Coelho *et al.*, 2006).

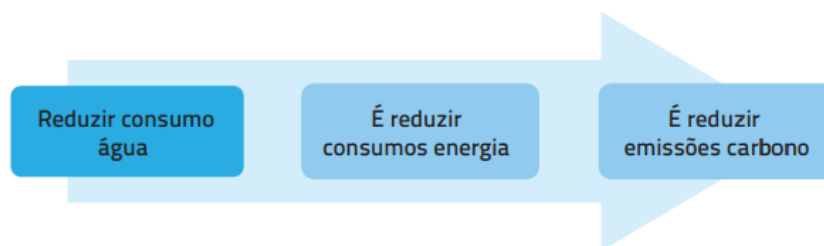


Figura 26 - Consequência ambiental da redução de perdas de água

Torna-se cada vez mais evidente a necessidade de definição de medidas de eficiência integrada água – energia para garantir às entidades gestoras uma sustentabilidade duradoura (Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) - implementação 2012/2020). A eficiência hídrica traz importantes benefícios para a componente elétrica, pois vêm-se reduzidos os custos de captação, de bombagem, porque as necessidades hídricas reduzem, reduzindo também os custos de tratamento de água.

Numa notícia do Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ) de setembro de 2017, é possível ler:

“Os sistemas de bombagem podem consumir até 90% dos gastos energéticos dos sistemas de distribuição (Grundfos, 2004). Em Portugal, os custos energéticos deste setor representam 60% de todos os custos operacionais (à exceção dos custos com pessoal e amortizações), incluindo o saneamento. A manutenção também representa uma fatia significativa correspondente a 20% destes custos.

Em 2015, os sistemas de distribuição de água portugueses representavam um consumo elétrico de 406GWh, que corresponde a 0,86% de toda a energia elétrica consumida no país (Mendes, 2016).

Isto acontece porque os sistemas de bombagem são responsáveis pela captação, tratamento e transporte de água até aos consumidores ao longo de vastas áreas territoriais, sendo crucial que estas operações se façam de forma segura e eficiente. Só assim se garante uma boa qualidade de água e assegura a sua disponibilidade de forma satisfatória, o que tem um custo operacional bastante elevado (IMechE, 2004).”

Conclui-se assim que a ineficiência energética dos sistemas de bombagem tem impacto económico diretamente no abastecimento de água.

Em fase de projeto, o dimensionamento e seleção do equipamento de elevação deve permitir ajustar a capacidade de bombeamento às necessidades de cada momento, procurando garantir que os equipamentos se mantenham próximos dos pontos de funcionamento ótimos e com as alturas de elevação necessárias e suficientes.

Entretanto, no decorrer do tempo, pode dar-se a ocorrência de perdas de energia devido à degradação dos grupos de bombagem, o que pode ser combatido através de uma correta manutenção, quando realizada periodicamente, podendo igualar a sua eficiência à de um grupo de bombagem novo.

A aplicação dos modelos de simulação hidráulica, com objetivo de otimizar a energia consumida pela bombagem, exige a seleção adequada do equipamento e dos modos de operação. A simulação permite estabelecer, para os cenários mais prováveis de procura e de disponibilidade de água, quais os modos de operação a adotar preferencialmente.

3. MODELAÇÃO MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O *software* utilizado foi o *WaterNetGen*, que se trata de uma extensão do *Epanet 2.0*.

O simulador hidráulico, *Epanet 2.0*, foi desenvolvido no ano 2000 pela equipa de Lewis Rossman, para a agência americana de proteção ambiental - *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA), e adaptado para língua portuguesa, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) em 2002.

Trata-se de um *software* do domínio público, distribuído gratuitamente com a intenção de estabelecer entre os profissionais da indústria da água, os consultores, os docentes e os estudantes de engenharia e outras disciplinas técnicas, a divulgação da simulação de sistemas de abastecimento de água e os seus benefícios.

Com o *Epanet 2.0*, é possível a realização de simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água de sistemas de distribuição em pressão. Um sistema de distribuição é constituído por tubagens, bombas, válvulas e reservatórios. Feita a correta definição da topologia da rede, características físicas dos diversos componentes e consumos nos nós, o *Epanet 2.0* determina os valores como (Loureiro *et al.*, 2002):

- O caudal em cada tubagem;
- A pressão em cada nó;
- A altura de água em cada reservatório de nível variável;
- E, ainda, a concentração de substâncias químicas ao longo da rede, durante o período de simulação.

Foi desenvolvido com o objetivo de ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, aperfeiçoando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. Pode ser empregado em várias situações onde seja necessário realizar simulações de sistemas de distribuição de água, por exemplo (Loureiro *et al.*, 2002):

- Estabelecimento de cenários de projeto (p.ex., expansão de uma rede existente);
- Calibração de modelos hidráulicos;
- Análise do decaimento do cloro residual;
- E a avaliação dos consumos.

O *software* pode ajudar a analisar estratégias alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água no sistema, por exemplo, simulando o comportamento para (Loureiro *et al.*, 2002):

- Alterações na utilização de origens de água num sistema com múltiplas origens;

- Alteração de esquemas de funcionamento de grupos elevatórios e enchimento/esvaziamento de reservatórios de nível variável;
- Utilização de tratamento adicional, como seja a recloração;
- Seleção de tubagens para limpeza e substituição.

O *Epanet*, num ambiente integrado em *Windows*, permite editar dados de entrada da rede, efetuar simulações hidráulicas e de qualidade da água e visualizar os resultados em vários formatos (Loureiro *et al.*, 2002).

As ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, disponibilizadas pelo *Epanet*, têm como características mais relevantes (Loureiro *et al.*, 2002):

- Dimensão ilimitada (número de componentes) da rede a analisar;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombagem e do respetivo custo;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelação da relação entre pressão e caudal efluente de dispositivos emissores (e.g. aspersores de rega, ou consumos dependentes da pressão);
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlos simples, dependentes de uma só condição, ou em controlos com condições múltiplas.

3.1. Planificação do desenvolvimento do modelo

O desenvolvimento de modelos de simulação deverá seguir uma abordagem planificada e estruturada, para que se garanta a melhor rentabilidade possível tanto do esforço do modelador como dos recursos utilizados na modelação. O faseamento para o desenvolvimento de um modelo de simulação passa pelas fases ilustradas na Figura 27 (Coelho *et al.*, 2006).

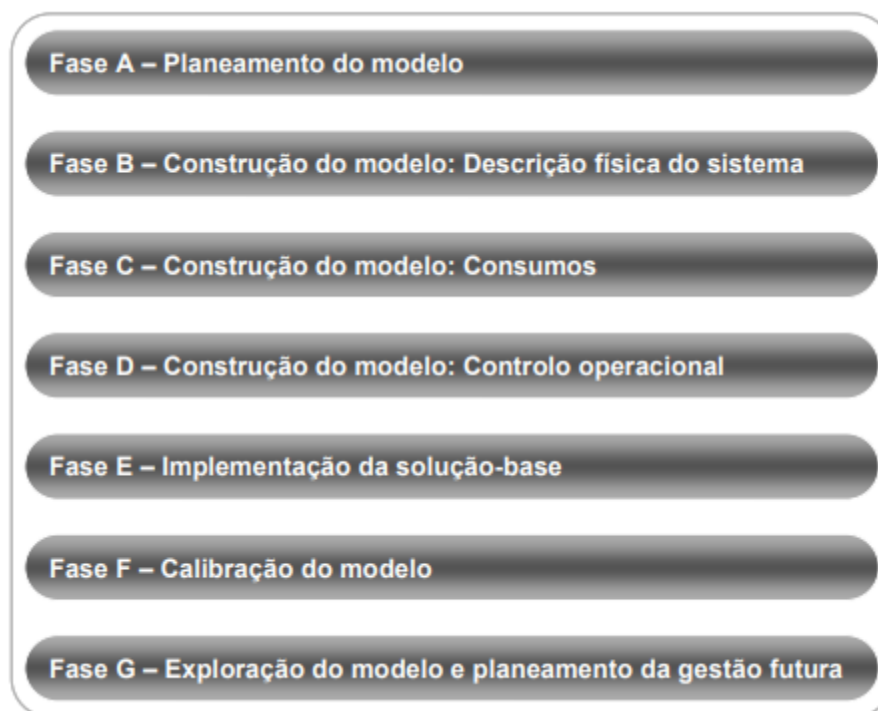


Figura 27 - Faseamento do desenvolvimento de um modelo de simulação (Coelho *et al.*, 2006)

3.2. Construção de modelos

A construção de um modelo de simulação implica a recolha, ou geração, de determinadas informações acerca de um SAA, seguindo-se da compilação das mesmas em formato específico necessário para proceder ao carregamento de dados no modelo da informação real. As informações necessárias são (Coelho *et al.*, 2006):

- A topologia, geometria, altimetria e características (passíveis de influenciar o comportamento hidráulico e dos parâmetros de qualidade da água) da infraestrutura física – condutas, válvulas, reservatórios, bombas e outros elementos;
- As solicitações ao sistema, sob a forma de consumos e caudais, tanto na sua distribuição espacial como na escala e variação temporal;
- O funcionamento operacional do sistema, para os vários cenários de gestão técnica a simular.

3.2.1. Caracterização física do sistema

Os elementos físicos da rede a serem considerados na construção de um modelo são as condutas, as válvulas, as bombas, os nós e os reservatórios, incluindo a referenciação de coordenadas e cotas dos nós, o traçado da rede daí resultante, e a respetiva topologia (Coelho *et al.*, 2006).

Não é opcional dispor da totalidade da informação de base sobre os componentes físicos de um sistema para preparar uma primeira versão aproximada, tanto quanto possível, do respetivo modelo relativamente à realidade. O conhecimento dos dados de base e a obtenção de um modelo bem calibrado é um processo iterativo. A principal fonte de informação geográfica e física para o modelo deve ser o cadastro do sistema a analisar, pelo que é importante que este seja o mais completo e atualizado. Torna-se indispensável, por exemplo, o conhecimento da localização de válvulas de seccionamento e o estado em que se encontram, sobretudo as que se encontram normalmente fechadas, e da localização de válvulas utilizadas para efeitos de operação, quando a finalidade do modelo que se encontra em construção seja a reprodução da situação real do sistema, como no caso dos modelos destinados ao apoio à operação e manutenção (Coelho *et al.*, 2006).

3.2.2. Representação da infraestrutura física num modelo

Como já referido, a informação de base para a construção de um modelo provém dos dados de cadastro. Podem estar armazenados sob diversas formas, desde o formato numérico, ao suporte gráfico em papel, e ao suporte gráfico digital em CAD (Computer-Aided Design) ou em Sistema de Informação Geográfica (SIG). Este último consiste na combinação entre o formato gráfico e um conjunto de dados de cadastro estruturados e armazenados numa base de dados (Coelho *et al.*, 2006).

Existem três métodos a considerar no processo de geração dos dados da infraestrutura física no modelo (Coelho *et al.*, 2006):

- Método de geração manual dos dados;
- Método de geração dos dados a partir de desenhos CAD;
- Método de geração dos dados a partir de um SIG.

3.2.2.1. Método de geração manual dos dados

A forma manual é o processo mais simples e tradicional de descrever a infraestrutura física num modelo de simulação.

A construção de um modelo através deste método, hoje em dia, é uma tarefa bastante simples e intuitiva, uma vez que as capacidades de interface gráfica generalizadas na maioria dos simuladores são semelhantes às que se encontram nos programas de CAD ou de desenho técnico. Os elementos são criados a partir de bibliotecas ou barras de ferramentas e dispostos graficamente no ecrã. Sendo possível criar e parametrizar modelos muito rapidamente, especialmente quando não envolvem um grande número de nós e troços (Coelho *et al.*, 2006).

O modelo pode ser obtido através da aplicação deste método em duas fases distintas: na criação gráfica da topologia da rede, e no posterior carregamento das características da rede em forma de tabela (Coelho *et al.*, 2006).

3.2.2.2. Método de geração dos dados a partir de desenhos CAD

A utilização do *software* CAD para representar e registar a informação de cadastro de um SAA é uma das soluções informáticas disponíveis e muito utilizadas pelos projetistas e EG, nomeadamente em projetos e telas finais das obras realizadas na rede (Coelho *et al.*, 2006).

Sempre que se pretenda utilizar os desenhos CAD existentes de uma infraestrutura para a criação de um modelo da mesma, há que ter em atenção alguns cuidados ao nível do traçado, para que este se aproxime o mais possível da realidade e, assim, minimizar a necessidade de realizar alterações no modelo para completar o traçado da rede. Isso porque normalmente, quando estes desenhos são concebidos, não tem em conta a precisão necessária à sua utilização futura num modelo de simulação (Coelho *et al.*, 2006).

O traçado da rede obtido a partir de um desenho em CAD contém apenas os troços e os nós. A inserção de outros elementos como válvulas, bombas e reservatórios é, posteriormente, realizada utilizando o próprio *software* de simulação (Coelho *et al.*, 2006).

3.2.2.3. Método de geração dos dados a partir de um SIG

Os SIG tornam-se cada vez mais no principal arquivo da informação referente à infraestrutura física e mesmo ao seu funcionamento e utilização. Quando plenamente desenvolvidos, os SIG contêm uma grande parte da informação dos SAA que é necessária para, num modelo de simulação, descrever as condutas e grande parte das válvulas – em termos topológicos (conectividade de troços e nós), geométricos (diâmetros e comprimentos de conduta, diâmetros de válvulas) e altimétricos (cotas) (Coelho *et al.*, 2006).

Têm também a capacidade de registar informação sobre o material, idade, história de reparações e outros elementos que possibilitam uma estimativa do coeficiente de rugosidade, fundamental para a definição do comportamento hidráulico na simulação de qualidade de água (Coelho *et al.*, 2006).

A exportação da descrição de condutas e válvulas a partir de um SIG, com o formato compatível com um determinado simulador, consegue gerar uma grande quantidade de informação e dá, assim, um grande contributo no processo de construção de um modelo, sendo neste aspeto mais benéfico e rápido do que no caso de se usarem os desenhos CAD (Coelho *et al.*, 2006).

3.2.3. Consumos e caudais

Um SAA tem como solicitações os consumos de água por parte dos diferentes grupos de consumidores e as perdas físicas de água que acontecem no conjunto das componentes da infraestrutura (Coelho *et al.*, 2006).

O consumo de água numa rede de distribuição conta com (Coelho *et al.*, 2006):

- O consumo humano (doméstico, comercial, industrial, as utilizações públicas de água para rega de espaços verdes ou lavagem de ruas, e as restantes utilizações autorizadas, bem como eventuais utilizações não autorizadas);
- E as perdas de água originadas por fugas, roturas e extravasamentos.

Assim, é necessário ter especial atenção na obtenção das estimativas de consumo, e a adoção de métodos de quantificação e atribuição de consumos aos nós da rede que facilitem a sua atualização permanente e flexibilizem o cálculo e utilização do modelo (Coelho *et al.*, 2006).

Uma parte indispensável das funções de um sistema de abastecimento de água deve ser a medição fiável dos principais volumes de água geridos, não só para efeitos de modelação, mas sobretudo pelo incremento das capacidades de análise e gestão da oferta e da procura, incluindo a avaliação de perdas, já descrita anteriormente (Coelho *et al.*, 2006).

3.2.3.1. Especificação dos consumos num modelo

Um dos problemas essenciais que se coloca no processo de construção de um modelo de simulação é a especificação dos consumos. Apesar de na perspetiva real da rede, estes se encontrarem distribuídos ao longo das condutas, através dos ramais domiciliários, e ser igualmente expectável que as fugas se distribuam de forma aproximadamente contínua, nos modelos de simulação, são normalmente implementados de forma simplificada e representam-se os consumos como estando concentrados nos nós que delimitam as condutas, Figura 28 (Coelho *et al.*, 2006).



Figura 28 - Atribuição dos consumos da conduta aos nós inicial e final (Coelho *et al.*, 2006)

A forma comum para especificar os consumos nos nós do modelo, passa pela atribuição de um valor nominal definido como consumo-base, representativo do consumo acumulado do nó (Coelho *et al.*, 2006).

3.2.3.2. Métodos para distribuição espacial do consumo-base pelos nós

O método mais adequado é selecionado tendo em consideração, fundamentalmente, os seguintes aspetos (Coelho *et al.*, 2006):

- Tipo e qualidade da informação disponível;

- Equipamento de medição e de processamento disponíveis;
- Objetivos de aplicação do modelo.

Sabendo que os modelos de SAA podem ser aplicados como apoio à operação, à manutenção e reabilitação dos mesmos ou em fase de planeamento e licenciamento, interessa (Coelho *et al.*, 2006):

- Reproduzir tão corretamente quando possível a situação atual de consumos;
- Escolher uma estratégia de carregamento e criar mecanismos tais que facilitem a contínua atualização da representação dos consumos;
- E sendo inevitavelmente uma tarefa fastidiosa – pelo menos da primeira vez que é executada – procurar a forma de a executar que seja temporalmente menos onerosa, mais automatizável e menos sujeita a erro humano.

Os métodos normalmente aplicados em modelação de sistemas de abastecimento segundo Coelho *et al.*, 2006, são:

- Métodos baseados na análise cartográfica: utilizados quando a quantidade de informação disponível é escassa ou quando não é recomendável utilizar os valores de faturação, tratando-se de métodos aproximados, cujos resultados são fundamentalmente estimativas, mas que possuem relativa flexibilidade. Estes métodos são utilizados fundamentalmente para casos de planeamento, dimensionamento ou expansão de sistemas.
- Métodos baseados nos dados de faturação: recorrem basicamente à construção de tabelas de correspondência entre os valores registados no sistema de faturação e os nós do modelo. A base do processo passa por identificar um campo da base de dados de consumos que funcione como chave para a definição do consumo de cada local, para que este seja associado a um nó do modelo. Proceder-se, então, ao carregamento de consumo a partir dos registos de faturação, que pode ser concretizado através da área de leitura, do número de polícia, que é o número que identifica a porta, ou o código de ramal, que é atribuído pela EG. A distribuição espacial dos consumos através deste método tem como objetivos iniciais procurar aproveitar a informação contida nos registos de leitura dos consumidores e explorar as possibilidades efetivas de automatização, abreviando e tornando mais eficazes os mecanismos de atualização da estimativa.
- Métodos baseados na interligação SIG – sistema de faturação/modelo: a sua aplicação pressupõe a prévia representação e georreferenciação dos ramais nos SIG, havendo uma codificação comum entre o sistema de faturação e o SIG, de forma a interligar os dois. Com este método fornece-se um modelo de simulação, para além de infraestrutura física, os valores de consumos acumulados em nós de modelação. Para

isso é necessário não só a possibilidade de exportação para o modelo, mas também a capacidade de o SIG agregar os ramais e os respetivos totais de consumo às condutas a que estão ligados, e seguidamente concentrá-los nos nós de modelação. Caso seja possível utilizar este método, é visivelmente a melhor solução para o carregamento da distribuição espacial de consumos num modelo, pois pode atingir um grau de automatização muito considerável, e simplificar assim a geração da solução inicial, e sobretudo a sua atualização futura.

3.2.4. Determinação de padrões de consumo

Para determinar os padrões de variação de consumo ao longo do dia deve-se analisar estatisticamente os registos contínuos da monitorização de caudal (Coelho *et al.*, 2006).

O resultado é uma curva que une pontos representativos do valor médio do consumo em sucessivos momentos ao longo do dia. São calculadas as médias de um trecho do registo que se mostre representativo para o objetivo em vista, no entanto, é de frisar a influência das variações sazonais, nomeadamente no andamento da curva (Coelho *et al.*, 2006).

Segundo Coelho *et al.*, 2006, “a metodologia usada no seu cálculo consiste em adimensionalizar os valores do caudal ao longo da amostra em estudo, dividindo-os pelo caudal médio do dia a que se referem. Dado que os efeitos sazonais se fazem sentir mais sobre a escala da curva do que propriamente sobre o seu andamento, o diagrama adimensional obtido tem a vantagem de ver eliminados grande parte desses efeitos. Naturalmente que, se o efeito sazonal for muito acentuado, deverá aplicar-se este método a trechos de registo relativamente homogêneos desse ponto de vista, devendo-se, como é o caso, dividir o ano nas principais épocas”.

A determinação de padrões diários adimensionais de consumo permite a separação do comportamento dos consumos de caudais na escala temporal que acontecem. O facto de serem adimensionais permite a comparação direta entre dias da semana da mesma época, de épocas do ano diferentes ou de ano para ano. A quantidade de informação contida nos diagramas é bastante grande e, por se tratar de um suporte gráfico, muito facilmente perceptível. Normalmente encontram-se maiores diferenças entre os dias úteis, os sábados e os domingos (Coelho *et al.*, 2006)

A utilização de padrões diários adimensionais demonstra-se uma grande ajuda na modelação dos sistemas, uma vez que permite carregar o modelo com os comportamentos típicos e trabalhar o fator de escala independentemente, mesmo que com base nos consumos médios diários calculados conjuntamente com os padrões (Coelho *et al.*, 2006).

3.3. Calibração de modelos

Um modelo de simulação hidráulica é desenvolvido com o objetivo de reproduzir o comportamento real de um sistema existente ou de um sistema a construir, perante um conjunto de solicitações que já ocorram ou que possam vir a ocorrer, diferentes modos de

operação e alterações da topologia ou das características físicas dos componentes (Coelho *et al.*, 2006).

Sempre que o modelo recai sobre um sistema existente, torna-se necessário proceder à aferição dos resultados obtidos para aproximá-los da realidade tanto quanto possível, e determinar até que ponto tal é conseguido. Uma correta modelação traduz-se basicamente no equilíbrio a alcançar entre a realidade, a simulação da realidade, e o esforço necessário para que as duas coincidam, de forma a satisfazer o objetivo de estudo definido (Coelho *et al.*, 2006).

Assim, de acordo com Coelho *et al.*, 2006, entende-se por calibração de um modelo de qualquer sistema físico “o processo de aferição e validação do modelo para diversas condições de funcionamento criteriosamente selecionadas, de modo a permitir que a sua utilização possa ser feita com confiança suficiente no âmbito da análise pretendida”. O modelo calibrado deve possibilitar a compreensão de variáveis do comportamento do sistema que não são objeto de medição, quer para situações de funcionamento semelhantes às selecionadas para calibração, quer para situações diferenciadas (Coelho *et al.*, 2006).

A calibração é feita pela comparação entre os dados simulados e os resultados medidos e recolhidos na rede em funcionamento, assim, quanto maior for o número de observações dos parâmetros que retratam o comportamento do sistema, mais o processo de calibração beneficiará (Coelho *et al.*, 2006).

Para considerar que um modelo hidráulico se encontra calibrado, este deverá simular de forma adequada, tanto os valores do caudal, como os de pressão, não sendo suficiente obter bons resultados para apenas uma destas variáveis (Coelho *et al.*, 2006).

O modelo calibrado deverá cumprir um determinado grau de exatidão. Esse grau mede a diferença entre os valores calculados pelo modelo e os valores medidos, para determinada grandeza. O grau de exatidão poderá ser previamente estabelecido e dependerá dos objetivos de utilização do modelo. Sublinha-se que, o grau de exatidão final é uma característica própria de cada modelo, e influenciador direto da fiabilidade dos seus resultados (Coelho *et al.*, 2006).

Sintetizando, a fase de calibração permite satisfazer os seguintes objetivos (Coelho *et al.*, 2006):

- Estabelecer o grau de fiabilidade do modelo;
- Adquirir ou aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento do sistema, a sua operação e o seu desempenho;
- Descobrir e eliminar erros nos dados ou falhas no conhecimento do sistema.

Para além destes objetivos, esta fase permite algumas vezes identificar problemas no sistema estudado, pelo que nunca deve ser desvalorizar nenhum conjunto de dados de modelação

racionalmente construídos sem colocar a hipótese de algo imprevisto ou desconhecido poder ter ocorrido (Coelho *et al.*, 2006).

Os erros da calibração são as discrepâncias entre os resultados do modelo e a realidade observada, e podem ter diversas origens, como os dados utilizados para a descrição do sistema, as suas solicitações e condições de fronteira, e as suas condições operacionais (Coelho *et al.*, 2006).

A calibração de um modelo pode-se então definir como sendo o ajustamento dos valores das duas grandes fontes de incerteza nos dados iniciais: a rugosidade interna das condutas e os consumos nominais nos nós); até que se alcance a conciliação de valores de pressão e caudal. Para além destas, o diâmetro nominal e diâmetro interno, os registos de cadastro, os erros de conectividade, a simplificação da rede e os níveis e condições de operação de reservatórios e instalações elevatórias são também possíveis fontes de erro ou de incerteza nos dados de entrada de um modelo, que podem também contribuir para maiores discrepâncias entre resultados do modelo e medições na rede (Coelho *et al.*, 2006).

3.3.1. Medição de parâmetros para calibração de modelos

As medições de parâmetros necessários para a calibração de modelos de simulação hidráulica, implicam saídas de campo e existência do equipamento necessário. Isso resulta em custos, associados a mão-de-obra e ao equipamento. A montagem dos equipamentos pode ainda necessitar que se proceda a cortes do abastecimento ou alterações temporárias na rede. Atendendo a todas estas condicionantes, para que se minimizem as perturbações aos consumidores e do normal funcionamento da rede, deve-se realizar um planeamento cuidado de todo o processo.

3.3.1.1. Medição de pressão

A medição de pressões fornece dados fundamentais para calibração de modelos, uma melhor compreensão do sistema, e resolução de variados problemas operacionais. A pressão é um dos principais indicadores de desempenho operacionais no dia-a-dia de um sistema de distribuição, refletindo-se diretamente na qualidade do serviço prestado ao consumidor. Em contra partida, medir pressões pode tornar-se, regra geral, menos trabalhoso e dispendioso do que medir caudais. Mesmo os dois tipos de medição não constituam alternativa entre si, o conhecimento das pressões em determinados pontos da rede ajuda na verificação da veracidade dos valores dos caudais resultantes do modelo, tornando possível analisar se estes se afastam claramente dos caudais reais que circulam no sistema (Coelho *et al.*, 2006).

As medições de pressão podem ser realizadas, em qualquer ponto que permita acesso ao interior das condutas, ou seja, em hidrantes e bocas-de-incêndio, bocas de rega e simples torneiras de serviço, nas purgas, em tomadas em pressão e noutros acessórios existentes nos sistemas (Coelho *et al.*, 2006).

Os principais tipos de medidores são os transdutores ou manómetros, equipamentos portáteis ou fixos, analógicos ou digitais, com leitura instantânea apenas, ou com a capacidade de registo através de *datalogger*. Os equipamentos fixos podem ou não encontrar-se dotados de ligação a sistemas de telemedição, e muitos equipamentos portáteis são capazes de transmitir dados à distância através de transmissores rádio ou GSM (Coelho *et al.*, 2006).

Os manómetros analógicos por apenas permitirem fazer leituras instantâneas, não são tão adequados a este tipo campanhas de medição, uma vez que os digitais com *datalogger* permitem fazer medições contínuas, durante todo período de duração da campanha e assim obter uma maior quantidade de informação, com menor custo de mão-de-obra, e em formato possível de processar computacionalmente. Pode-se, também, ter um conjunto de medidores sincronizados de forma a obter dados em diversos pontos da rede no mesmo período de tempo (Coelho *et al.*, 2006).

3.3.1.2. Medição de caudal

A medição de caudais num SAA é realizada através de medidores de diferentes tipos, normalmente, dispendiosos, o que obriga a um planeamento cuidadoso da sua localização, que consiste na definição de pontos-chave. As principais localizações definidas são nas entradas e saídas de reservatórios, nas estações elevatórias, e entradas e saídas de sistemas, subsistemas e setores de abastecimento, incluindo as ZMC de perdas. Para tal é necessário possuir um conhecimento aprofundado tanto das características dos equipamentos utilizados como das condições em que as medições são obtidas (Coelho *et al.*, 2006).

Os principais tipos de medidores disponíveis no mercado, para as gamas de diâmetros normalmente utilizadas em SAA, são (Coelho *et al.*, 2006):

- Medidores mecânicos, normalmente tipo turbina ou Woltman, com a possibilidade de ligação a um registador mecânico ou a um gerador de impulsos;
- Medidores eletromecânicos, em que a rotação de uma turbina é eletronicamente convertida para valores analógicos ou de frequência;
- Medidores eletromagnéticos não-intrusivos, baseados na leitura das variações de um campo eletromagnético, produzindo valores analógicos ou de frequência;
- Medidores ultrassónicos não-intrusivos, estimando o caudal a partir do tempo de percurso de um sinal ultrassónico emitido transversalmente à conduta, e produzindo valores analógicos ou de frequência;
- Medidores de intrusão, eletromecânicos ou eletromagnéticos, montados na extremidade de uma haste que é inserida na conduta através de uma tomada em carga.

Os medidores ultrassónicos portáteis e os medidores de intrusão, embora mais dispendiosos, podem ser instalados e removidos com facilidade e sem serem intrusivos no normal

funcionamento da conduta, pelo que permitem uma maior flexibilidade de utilização (Coelho *et al.*, 2006).

Tal como os medidores de pressão, os medidores de caudal podem, caso não se encontrem ligados a um sistema de telemetria, também ser dotados com *dataloggers* e transmissores GSM (Coelho *et al.*, 2006).

3.3.2. Processo de calibração

Como já foi referido, a calibração de um modelo tem por base a comparação dos resultados da simulação com os dados obtidos em medição de campo, sendo um processo iterativo, cujos passos principais são repetidos até se atingirem as determinadas condições de aceitabilidade, definidas em função dos objetivos a que se destina, e tendo em consideração a qualidade dos dados utilizados para o construir (Coelho *et al.*, 2006).

O conceito básico do processo de calibração consiste em correr o modelo e comparar os resultados com medições de campo, caso a diferença for superior à tolerância de erro estabelecida previamente, realizam-se ajustamentos e volta-se a correr o modelo (Coelho *et al.*, 2006).

A calibração implica um procedimento ordenado que se rege pelos seguintes passos (Coelho *et al.*, 2006):

1. Identificação do uso que se pretende dar ao modelo;
2. Estabelecimento de um cenário-tipo para a comparação;
3. Revisão das condições operacionais e, se necessário, de outros parâmetros do modelo;
4. Recolha de dados de calibração;
5. Simulação inicial do processo iterativo;
6. Macro-calibração;
7. Análise de sensibilidade;
8. E micro-calibração ou ajustamento fino.

O número de iterações necessárias é bastante imprevisível, dependendo de caso para caso, de acordo com a topologia do sistema, o grau de exatidão definido, a complexidade da rede, a qualidade dos dados descritivos do sistema e a modelação dos consumos (Coelho *et al.*, 2006).

3.3.3. Resultados da calibração

Coelho *et al.*, 2006, sugere que “a comparação dos resultados do modelo calibrado com os dados obtidos em medições de campo deverá ser orientada para objetivos específicos. É muito improvável que os valores modelados e os valores medidos no sistema coincidam em todos os

pontos do sistema e para todos os instantes de tempo. A resposta de um sistema e do respetivo modelo às diferentes condições de caudal impostas poderá variar grandemente”.

Walski *et al.*, 2003, enuncia os seguintes princípios:

- **Sistemas com baixas velocidades de escoamento**
Muitos sistemas encontram-se sobredimensionados, devido à imposição de diâmetros mínimos, e/ou pelo facto de terem sido dimensionados para caudais de ponta no horizonte de projeto, que acabam por não ocorrer com frequência, possivelmente ainda agravados pela verificação das condições de combate a incêndio. Como consequência disso, dá-se a ocorrência de velocidades baixas resultando em perdas de carga pequenas. A calibração não será muito reveladora, uma vez que as redes destes sistemas serão pouco sensíveis a alterações nos coeficientes de rugosidade ou mesmo à distribuição nodal de consumos. A informação obtida poderá ser útil para verificar a conectividade da rede, das condições de fronteira nos reservatórios e em pontos de abastecimento, e da altimetria. Como tal, chega-se à conclusão que, em sistemas sobredimensionados, não se justifica a calibração de coeficientes de rugosidade (e os necessários testes de perda de carga).
- **Sistemas com altas velocidades de escoamento**
Em sistemas que operem próximo da sua capacidade de transporte, e consequentemente com velocidades de escoamento mais altas, já será apresentada sensibilidade significativa das pressões tanto aos coeficientes de rugosidade como aos consumos nos nós. Podem ser aplicados diferentes cenários para calibração que apresentem, de preferência, elevadas perdas de carga. Os coeficientes de rugosidade devem ser os mesmos em todas as condutas do mesmo material e alterados em simultâneo em todas elas.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. O sistema de abastecimento do município de Montemor-o-Velho

O abastecimento de água do concelho de Montemor-o-Velho, que é gerido sob responsabilidade da Câmara Municipal de Montemor-o-Velho (CMMV), vê-se assegurado por sete sistemas, Figura 29.

Os sistemas tomam os nomes de Abrunheira, Montemor, Pereira, Prolote, Seixo, Tentúgal e Arazedo, e são alimentados a partir de captações locais com uma exceção, o sistema de Arazedo, que é assegurado por água importada do concelho de Cantanhede.

O sistema de Arazedo abastece as zonas de Arazedo, Vila Franca, Gordos, Zambujeiro, correspondendo a cerca de 1.500 habitantes.

O sistema de Abrunheira é um sistema autónomo. A água é captada na zona do Brulho e encaminhada para tratamento, sendo posteriormente distribuída pelas várias localidades, como, por exemplo, Abrunheira, Reveles, Verride, Vila Nova da Barca e Ereira. Este sistema serve aproximadamente 2.500 habitantes.

O sistema de Pereira é servido com água de origem subterrânea, captada através de dois furos, e abastece as localidades de Pereira, Santo Varão, Formoselha, Casal Minhoto, Casais Velhos e Casal da Légua. Isto corresponde, aproximadamente, a um número total de 3.700 habitantes servidos.

Em Pereira, temos ainda o sistema da Prolote, que abastece a Urbanização Prolote, que conta com cerca de 1.500 habitantes.

Do sistema do Seixo fazem parte os lugares pertencentes a Seixo, Gatões, Liceia, uma parte da população pertencente a Arazedo, Carapinheira, alguns lugares de Montemor-o-Velho e uma parte da população pertencente a Tentúgal, o que perfaz um total de cerca de 5.400 habitantes. A captação é feita através dos furos do Seixo, sendo tratada para depois poder ser distribuída pelos vários lugares acima nomeados.

O sistema de Tentúgal, que abastece a restante zona de Tentúgal, Portela e parte das Meãs, fornece água a um total de cerca de 2.300 habitantes.

O sistema autónomo de Montemor-o-Velho abastece 44 lugares das freguesias de Montemor-o-Velho, Carapinheira e Meãs do Campo, e os cerca de 7.200 habitantes destes lugares são abastecidos através da água que é captada nos furos da Fonterma.

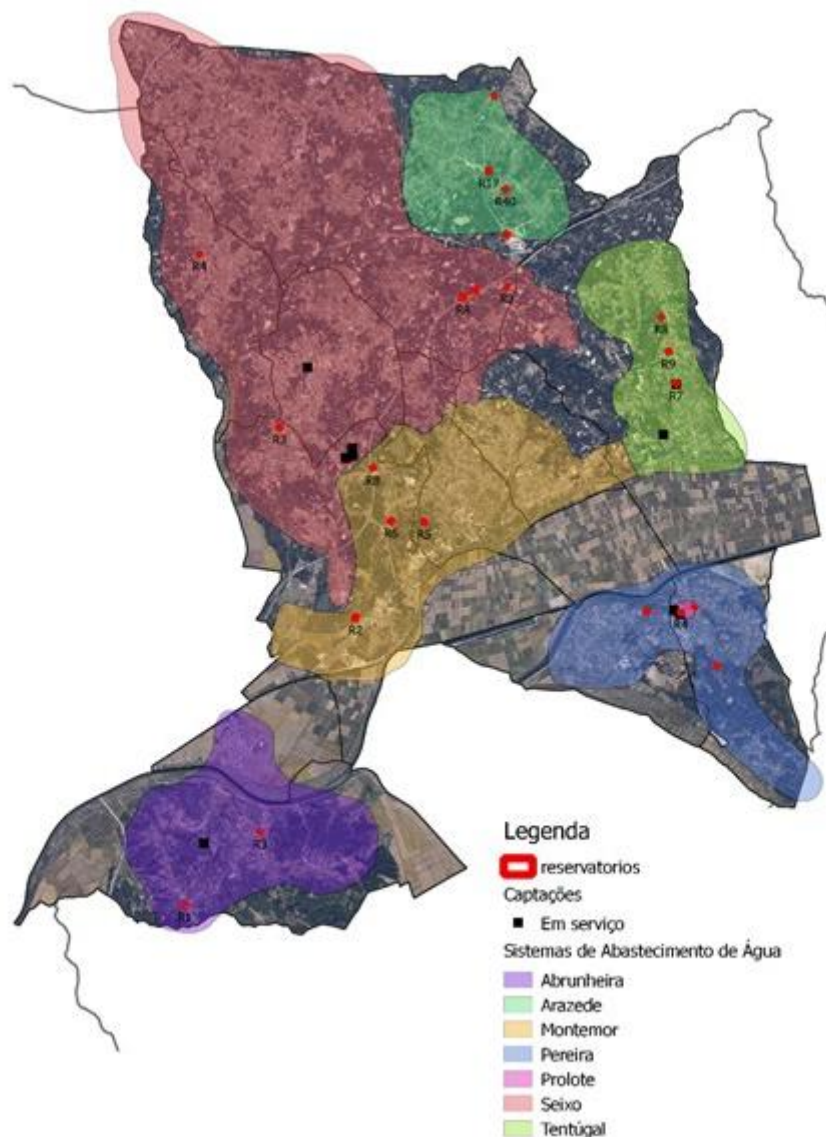


Figura 29 - Representação das zonas abrangidas pelos vários sistemas no concelho de Montemor-o-Velho (Imagem retirada do site do Município de Montemor-o-Velho)

O estudo centrou-se em parte do sistema autónomo de Montemor-o-Velho, parte essa que abastece a zona baixa de Montemor-o-Velho, a encosta do castelo e o lugar de Quinhendros.

Como já foi referido, a captação de água dá-se no lugar da Fonterma, e é realizada com recurso a 4 captações subterrâneas (mais propriamente, poços), que são auxiliadas por uma quinta captação, localizada junto ao reservatório Sargaço.

A água captada é elevada para o reservatório Sargaço, onde é submetida ao tratamento de desinfecção com cloro gasoso. Do reservatório Sargaço, a água é bombeada para o reservatório Cavalinha.

Este reservatório abastece parte da Carapinheira (alta) e alimenta, também, o reservatório S. Gens, por adutora gravítica.

O reservatório S. Gens abastece o sistema autónomo de Montemor-o-Velho através de duas condutas. Uma encaminha a água para a zona alta de Montemor-o-Velho (Casal Novo do Rio), Carapinheira (baixa) e Meãs, a outra abastece a zona de estudo, Figura 30.



Figura 30 - Vista aérea da zona estudada, Montemor-o-Velho e Quinhendros (Imagem retirada do Google Maps)

Na Figura 31 é apresentado um esquema do sistema descrito.

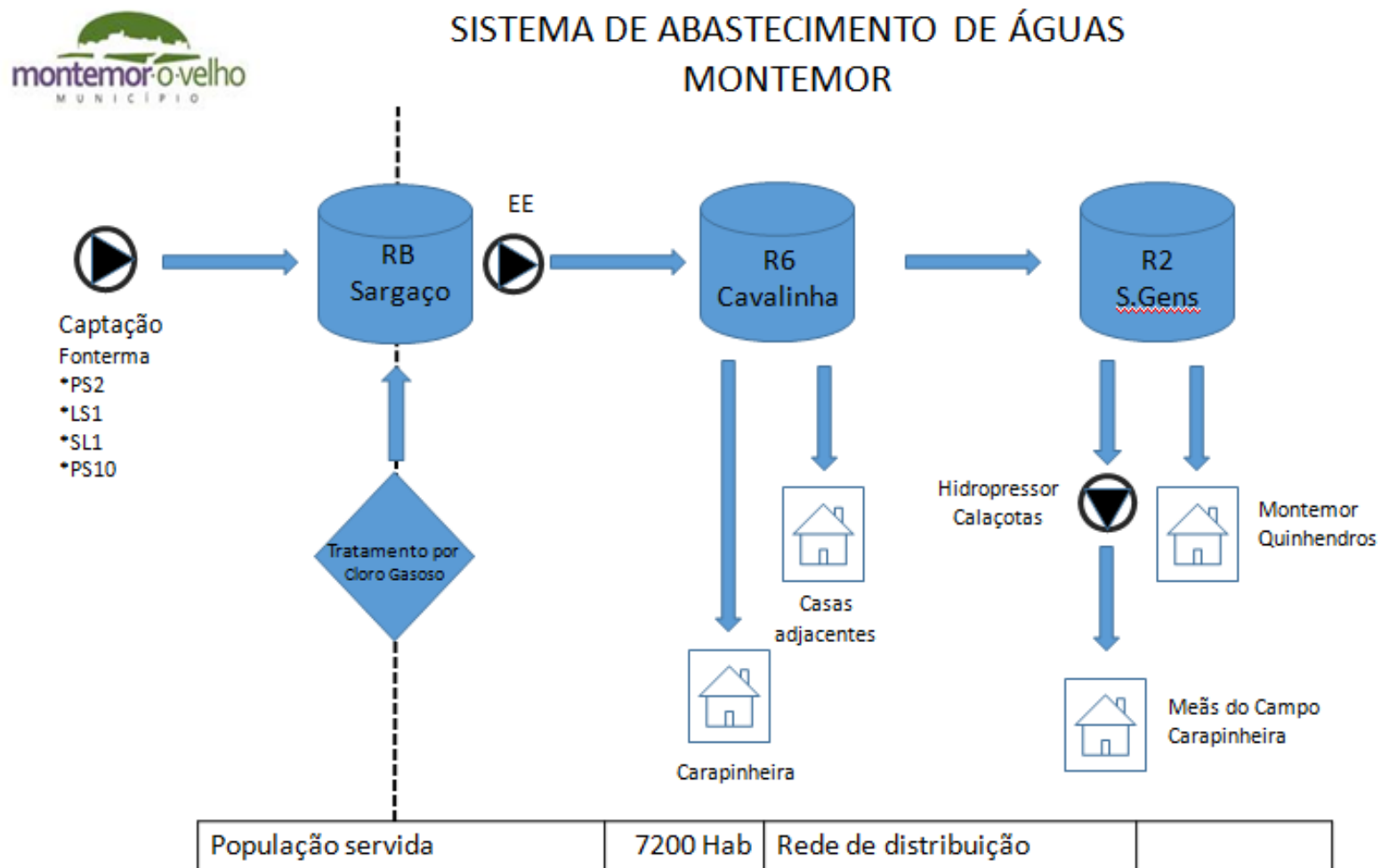


Figura 31 - Esquema do sistema de distribuição de água em estudo (Imagem cedida pela CMMV)

4.2. Combate às perdas de água reais

Como já foi referido, o volume de perdas de água reais corresponde à água que se perde por fugas em condutas, sendo estas de adução ou de distribuição, ou nos ramais de ligação, nas paredes e/ou base dos reservatórios ou extravasamento dos mesmos.

À data de início deste estágio, já se encontrava em realização a obra de reabilitação do reservatório Sargaço, por nele ter sido detetado um considerável volume de perdas devido a fissuração na sua estrutura. Foram realizados trabalhos de lavagem, reparação das fissuras, impermeabilização e higienização.

De forma a obter uma primeira avaliação do nível de perdas de água do sistema de distribuição de água de Montemor, foram analisados os dados registados pelo sistema de telemetria existente.

Nesta análise, foi possível observar que os valores dos caudais mínimos noturnos se apresentavam elevados, tendo em conta as solicitações desse período.

Procedeu-se ao levantamento dos dados que se encontravam cadastrados em SIG e foi feita a confirmação no terreno de todos os acessórios visíveis da rede, nomeadamente válvulas, bocas de rega, marcos de incêndio e bocas-de-incêndio.

Durante as saídas para confirmação do cadastro no terreno desenvolveram-se campanhas de localização de fugas com recurso a geofone, Figura 32. A localização das possíveis roturas detetadas foi reportada e assinalada no pavimento com tinta de *spray*, para posterior reparação.

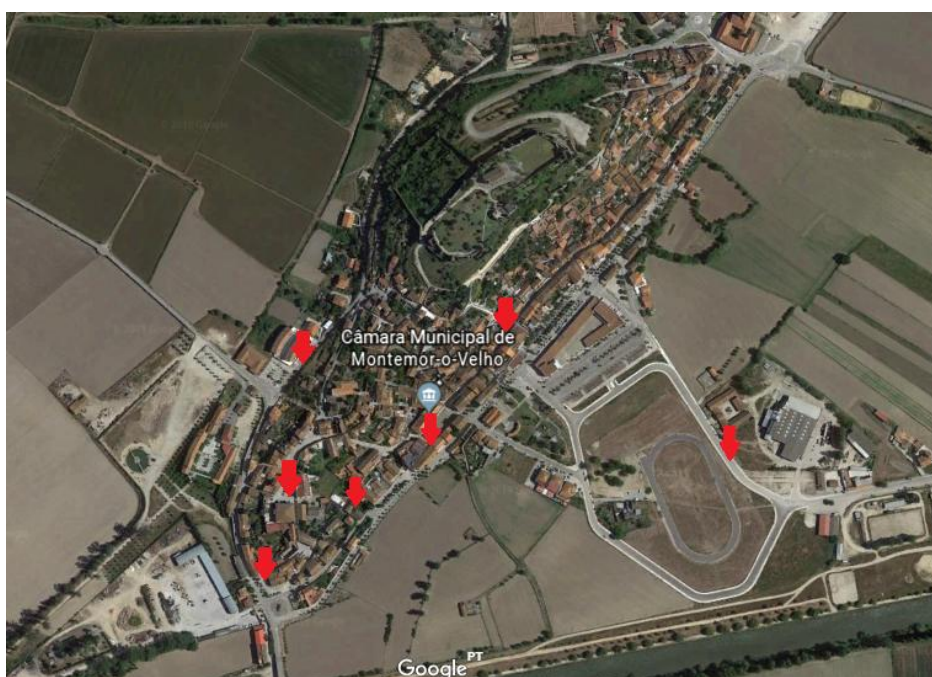


Figura 32 - Localização das fugas detetadas, assinaladas no GoogleMaps.

Para além das roturas, detetou-se que o contador afeto à rede predial da Logística da Câmara Municipal estava encravado, ou seja, não fazia medição do consumo de água.

Após a substituição do contador, para despistar a possível existência de uma possível rotura na rede predial deste departamento, foi feita uma análise ao consumo de água da Logística, o que veio a demonstrar valores elevados. Detetou-se então, com a realização de campanhas de localização com geofone, uma rotura que foi posteriormente reparada.

Refazendo a análise aos caudais mínimos noturnos da rede, depois de concretizada a reparação de algumas das roturas localizadas, estes apresentaram melhorias pontuais, mas que não se mantiveram, ponto que fortaleceu a necessidade de criar um modelo de simulação hidráulico da rede para compreender melhor o seu comportamento.

4.3. Construção do modelo hidráulico

A elaboração do modelo do sistema de distribuição de água de Montemor-o-Velho, foi efetuada através do *software WaterNetGen*, uma extensão do *Epanet 2.0*. Como já foi referido, este é um programa de modelação e simulação, desenvolvido para sistemas de abastecimento de água onde o escoamento se dá em pressão. Com ele é possível modelar todo o conjunto dos órgãos hidráulicos, incluindo diferentes configurações de reservatórios, e simular o seu funcionamento, em condições de regime permanente, para uma análise estática ou dinâmica.

Para a construção do modelo foi utilizado o cadastro que havia sido levantado e confirmado, como descrito no subcapítulo anterior.

O desenho da rede de distribuição foi ajustado recorrendo a programa de CAD, Figura33, para posteriormente ser exportado para o *software* utilizado para a simulação. Para o efeito, teve-se em atenção alguns aspetos, nomeadamente a utilização de *lines* ou *polylines* para definir um troço, em que as extremidades das *polylines* serão os nós de montante e de jusante do troço, e a correta definição do cruzamento das condutas (nós).

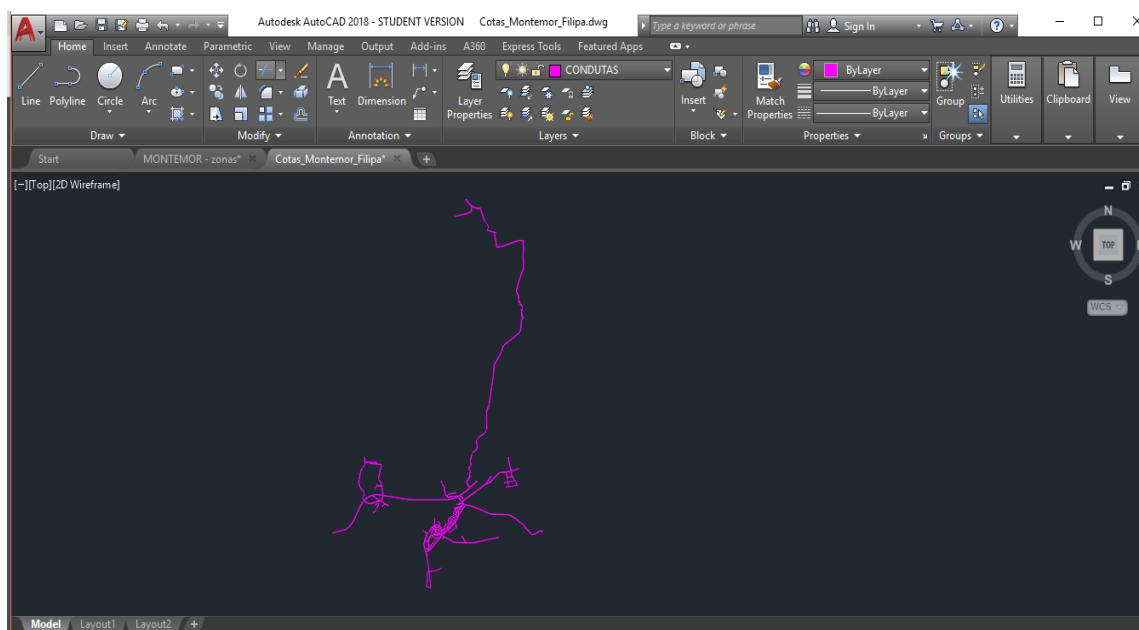


Figura 33 - Sistema de distribuição de água desenhado no AutoCAD

Terminada a consolidação do cadastro, iniciou-se o processo de geração dos dados da infraestrutura no *WaterNetGen*, Figura 34, utilizando como ficheiro base o que havia sido verificado em CAD. A conversão foi feita pelo Professor Joaquim Sousa, que utilizou um programa seu.

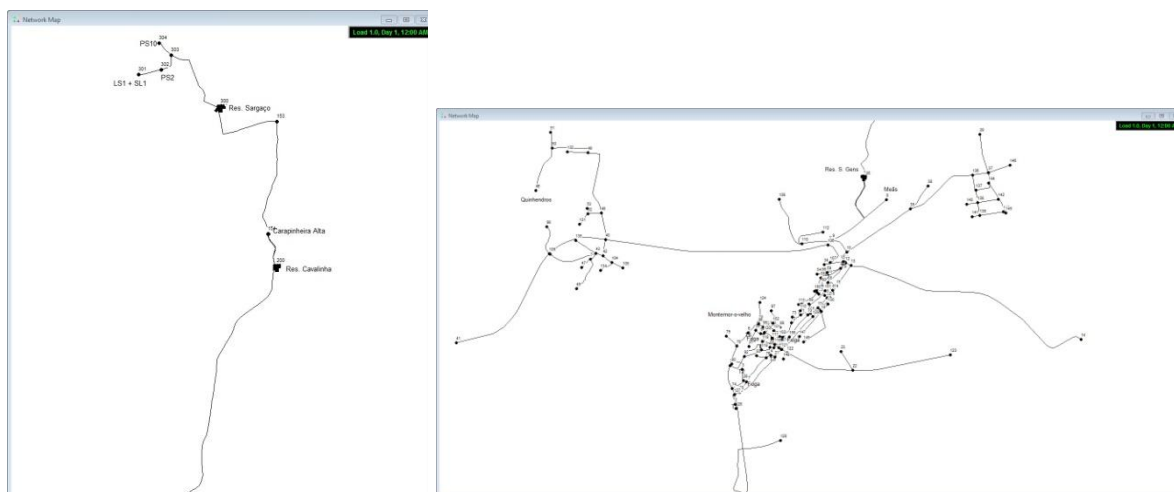


Figura 34 - Sistema de distribuição de água já convertido para *WaterNetGen*.

Ao exportar a rede do ficheiro CAD para o *WaterNetGen*, apenas são convertidos os nós, com a sua identificação e coordenadas, e os troços, com a sua identificação e comprimento. Assim, foi necessário inserir a restante informação nos nós e nos troços, assim como os restantes elementos (reservatórios, válvulas, etc.) que constituem a rede. Como identificado na Figura 35, nos nós foram inseridos os dados correspondentes, como a cota topográfica e o consumo

base respetivo, nos troços inserira-se o diâmetro interno, o coeficiente de rugosidade ($k=140$) das condutas tendo em conta a lei de resistência adotada (Fórmula de Hazen Williams) e o material das tubagens.

Property	Value
*Pipe ID	84
*Start Node	40
*End Node	106
Description	
Tag	
*Length	1212.782
*Internal Diameter	81.4
*Roughness	140
Loss Coeff.	0
Initial Status	OPEN
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Diameter Zone	0
Pipe Type & Class	
Allow Diameter Changes	Yes
Demand Coeff.	1.0
Demand Pattern	

Property	Value
*Junction ID	71
X-Coordinate	-46841.83
Y-Coordinate	56344.15
Description	
Tag	
*Elevation	13
Base Demand	0.0013503
Demand Pattern	C
Demand Categories	7
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Storeys Above Ground	1
Leakage Categories	0
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A

Figura 35 - Propriedades que é necessário inserir para cada nó e para cada troço no *software WaterNetGen*. (Imagem extraída do *software WaterNetGen*)

Os consumos base inseridos nos nós foram obtidos de acordo com os dados existentes na base de dados da faturação. Como não existia uma interligação entre esta informação e o cadastro que possibilitasse a contagem automática dos volumes de água faturados aos clientes pelos diferentes ramais, foi necessário trabalhar essa informação manualmente, por forma a associar os volumes faturados aos nós do modelo.

Para isso, foi identificada a zona de leitura, Figura 36, na base de dados dos consumos, e a morada associada ao consumidor de forma a definir o troço correspondente no modelo da rede para definir o consumo total de forma a associá-lo ao respetivo nó.



Figura 36 - Distinção das zonas de leitura de Montemor-o-Velho

Para simular o consumo de energia com base nas regras de operação atuais para as bombas do reservatório Sargaço, construiu-se no *WaterNetGen* um padrão adimensional que representa o tarifário de eletricidade (apenas a parte da energia consumida, sem considerar as demais taxas) praticado pelo fornecedor, Figura 37.

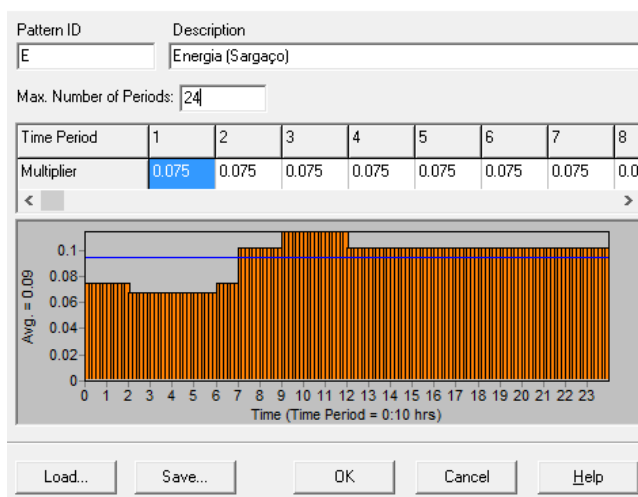


Figura 37 - Tarifário de energia elétrica (Diagrama extraído do software *WaterNetGen*)

4.4. Calibração do modelo hidráulico

Concluída a fase de construção do modelo hidráulico do sistema de distribuição, procedeu-se à sua calibração. Foi escolhido o dia 27 de maio de 2017 (sábado) como o dia de referência. De modo a caracterizar os perfis de pressão a diferentes cotas, foram instalados transdutores (T) de pressão em diferentes pontos da rede de distribuição, como se pode verificar nas Figuras 38, 39, 40 e 41.



Figura 38 - Transdutor de pressão T1

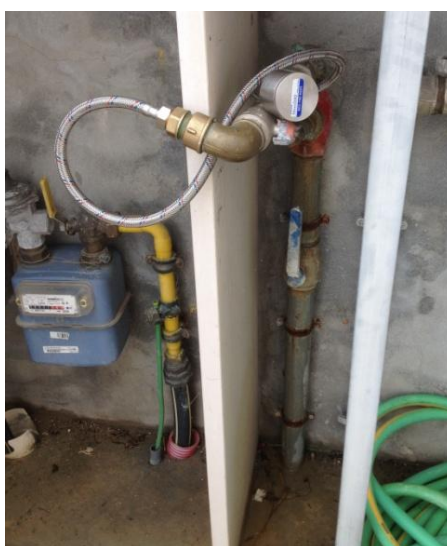


Figura 39 - Transdutor de pressão T2



Figura 40 - Transdutor de pressão T3



Figura 41 - Transdutor de pressão T4

A informação recolhida foi utilizada para validar os resultados finais obtidos no modelo criado, ou seja, para fazer a calibração do mesmo.

Ao todo foram instalados quatro transdutores de pressão, e a sua localização na rede pode ser observada na Figura 42.

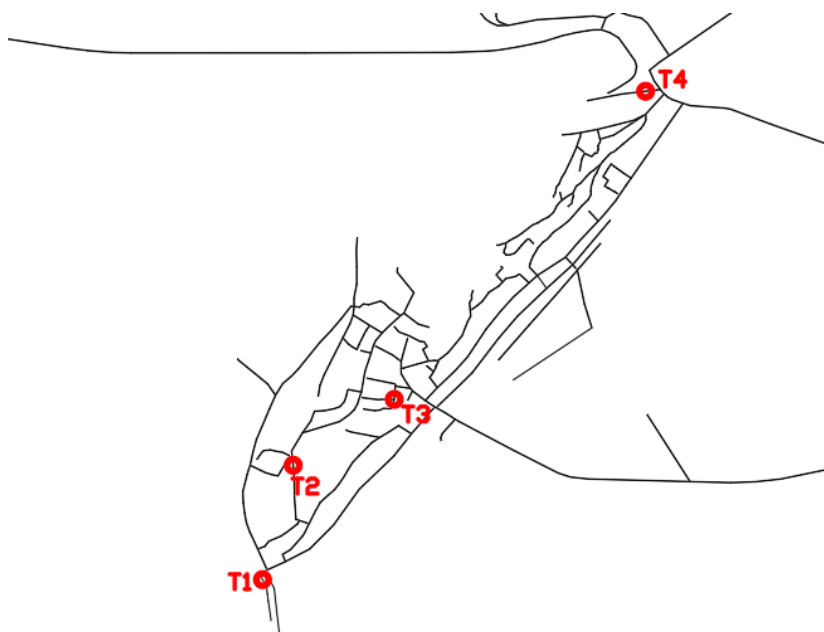


Figura 42 - Localização dos transdutores de pressão instalados na rede

Na Tabela 1 faz-se a listagem dos pontos correspondentes à localização dos transdutores, T, as respetivas cotas e a interligação à nomenclatura usada nos nós do modelo:

Tabela 1 - Associação dos T instalados aos nós do modelo e respetivas cotas

Transdutor	Nó correspondente	Cota (m)
T1	2	6,65
T2	3	17,6
T3	4	8,05
T4	5	8,95

No gráfico seguinte, Gráfico 2, apresentam-se os registos de pressão recolhidos pelos transdutores.

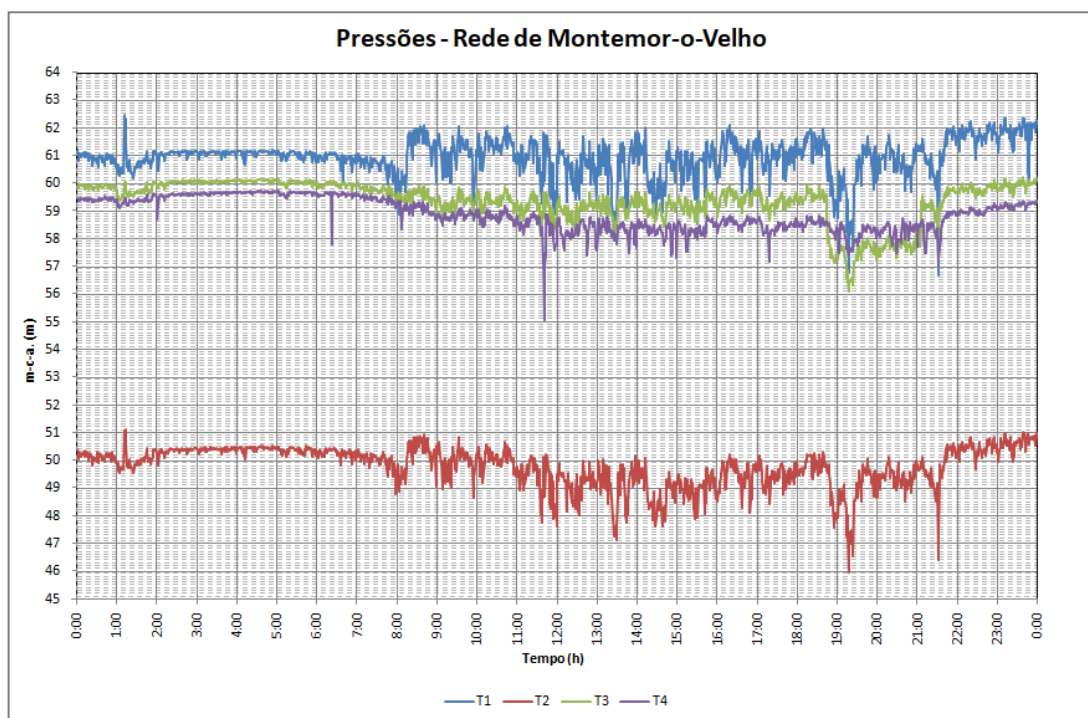


Gráfico 2 - Perfis de pressões registadas, no dia 27 de maio 2017, pelos transdutores de pressão instalados

Nos Gráficos 3, 4, 5 e 6, pode-se observar que o comportamento da pressão, obtido pela simulação, se aproxima da pressão medida ao longo do dia, nos respetivos nós.

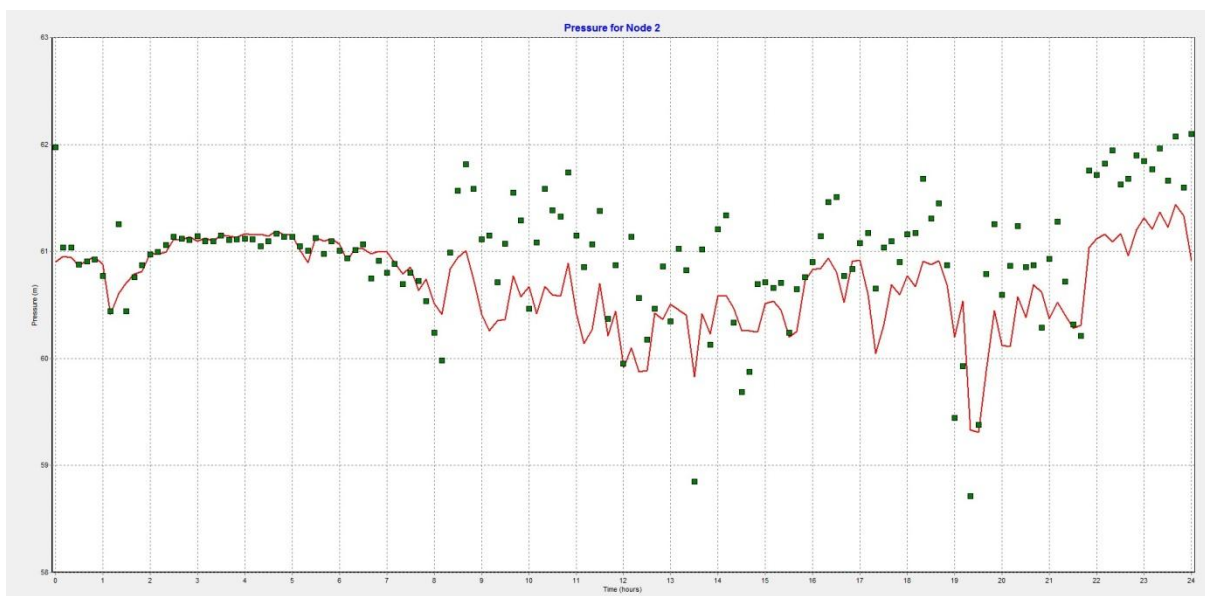


Gráfico 3 - Pressões no nó 2. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

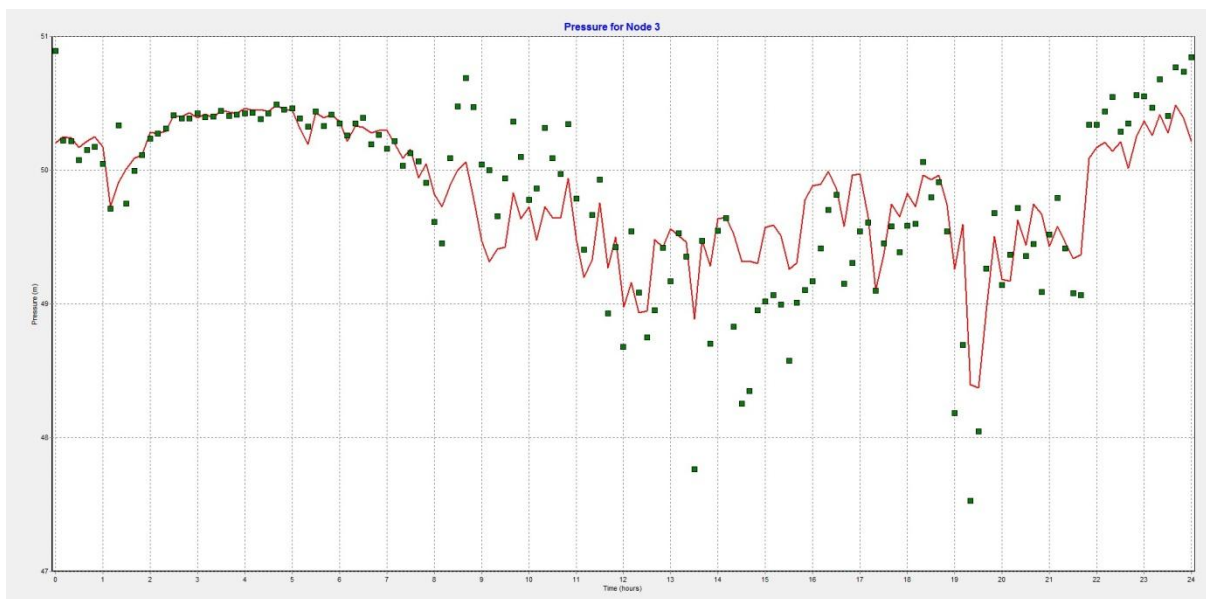


Gráfico 4 - Pressões no nó 3. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

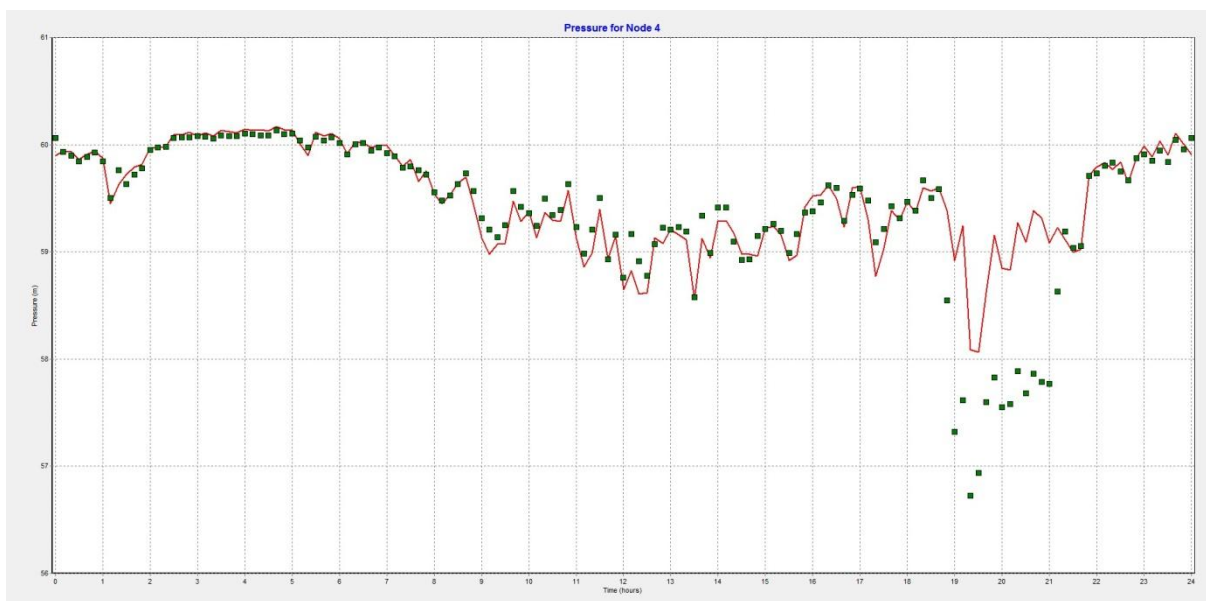


Gráfico 5 - Pressões no nó 4. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

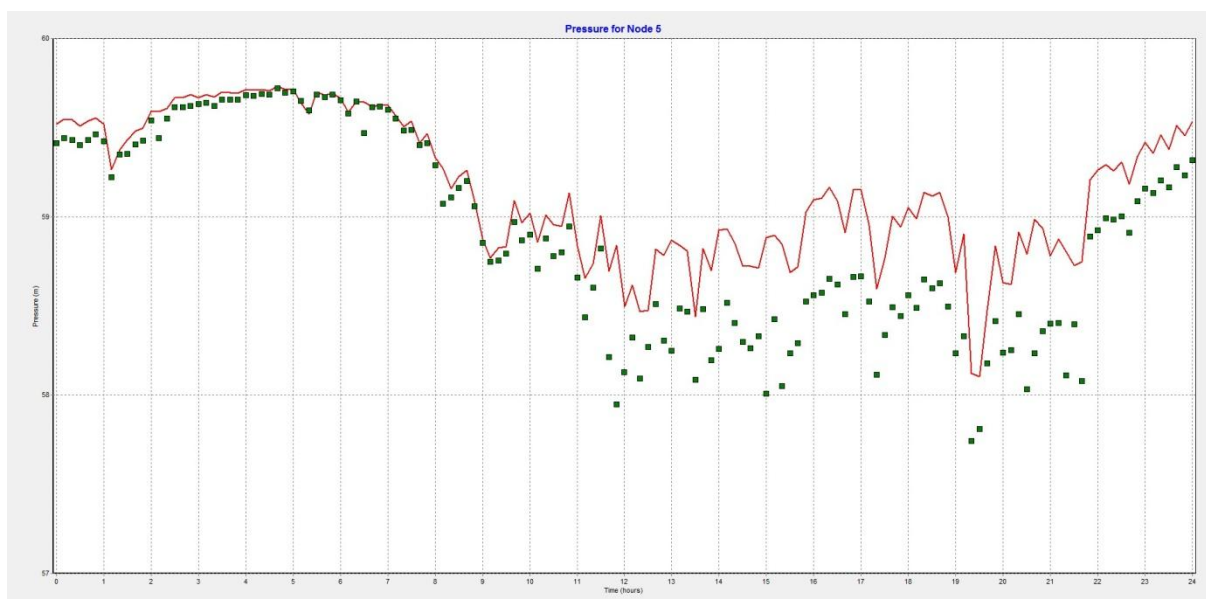


Gráfico 6 - Pressões no nó 5. Comparação entre o valor medido e o valor da simulação (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Realizado todo o processo, pode-se considerar que a calibração foi concretizada com sucesso. Assim, apresenta-se o relatório de calibração, Tabela 2, que lista os vários erros estatísticos entre os valores de simulação e os dados de medição, para o dia 27 de maio, em cada localização. Os elementos estatísticos listados são: o número de observações, a média dos valores observados, a média dos valores simulados, o erro médio absoluto entre cada valor observado e simulado (desvio absoluto médio em relação ao valor simulado) e a raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (raiz quadrada da média dos quadrados do erro entre os valores observados e simulados – desvio padrão em relação aos valores simulados).

Tabela 2 - Valores médios resultantes da calibração de pressão do modelo, para os diferentes T e reservatórios, os observados e os respetivos erros médios absolutos e o desvio padrão (Tabela extraída do *software WaterNetGen*)

Calibration Report - Pressure					
Statistics Correlation Plot Mean Comparisons					
Calibration Statistics for Pressure					
Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
1	288	2.74	2.74	0.011	0.017
2	144	60.95	60.70	0.364	0.474
3	144	49.79	49.84	0.251	0.358
4	144	59.39	59.50	0.194	0.432
5	144	58.89	59.15	0.260	0.341
200	229	3.53	3.53	0.008	0.011
Network	1093	31.63	31.66	0.145	0.294
Correlation Between Means: 1.000					

No Gráfico 7 apresenta-se a comparação entre os valores médios observados e simulados para as pressões nos pontos de instalação dos transdutores.

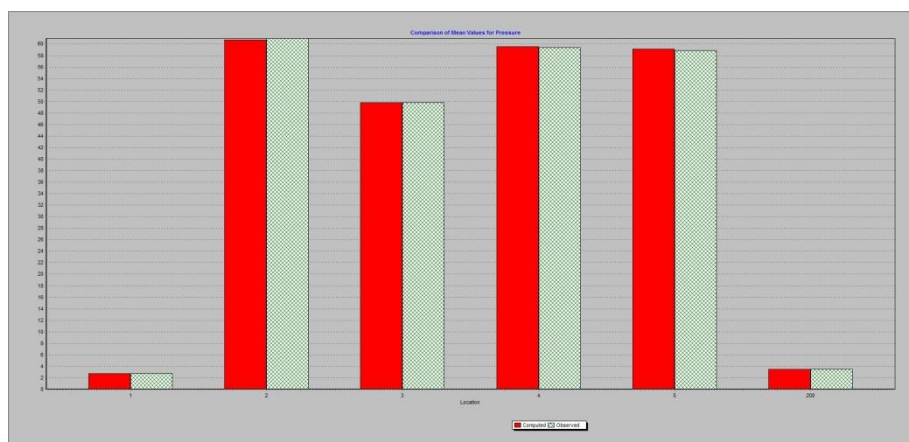


Gráfico 7 - Valores de pressão média observada e simulada nos diferentes pontos de instalação dos T e nos reservatórios (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Relativamente ao caudal, este também foi considerado para a calibração. Para tal consideraram-se os caudais registados em dois pontos da rede: à saída do reservatório Cavalinha e à saída do reservatório S. Gens; e obtiveram-se os resultados de calibração que se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação entre os valores de caudal medidos e os obtidos na simulação (Tabela extraída do *software WaterNetGen*)

Calibration Report - Flow					
Statistics Correlation Plot Mean Comparisons					
Calibration Statistics for Flow					
Location	Num Obs	Observed Mean	Computed Mean	Mean Error	RMS Error
82	144	5.46	5.45	0.002	0.003
89	144	15.60	15.49	0.480	0.608
Network	288	10.53	10.47	0.241	0.430
Correlation Between Means: 1.000					

A Tabela 3 lista os vários erros estatísticos entre os valores de simulação e os dados de medição, do dia 27 de maio, em cada localização. Os elementos estatísticos listados para cada local de medição são o número de observações, a média dos valores observados, a média dos valores simulados, o erro médio absoluto entre cada valor observado e simulado (desvio absoluto médio em relação ao valor simulado) e a raiz quadrada da média dos quadrados dos erros (raiz quadrada da média dos quadrados do erro entre os valores observados e simulados – desvio padrão em relação aos valores simulados).

No Gráfico 8 apresenta-se a comparação entre os valores médios observados e simulados para o caudal nos pontos de medição.

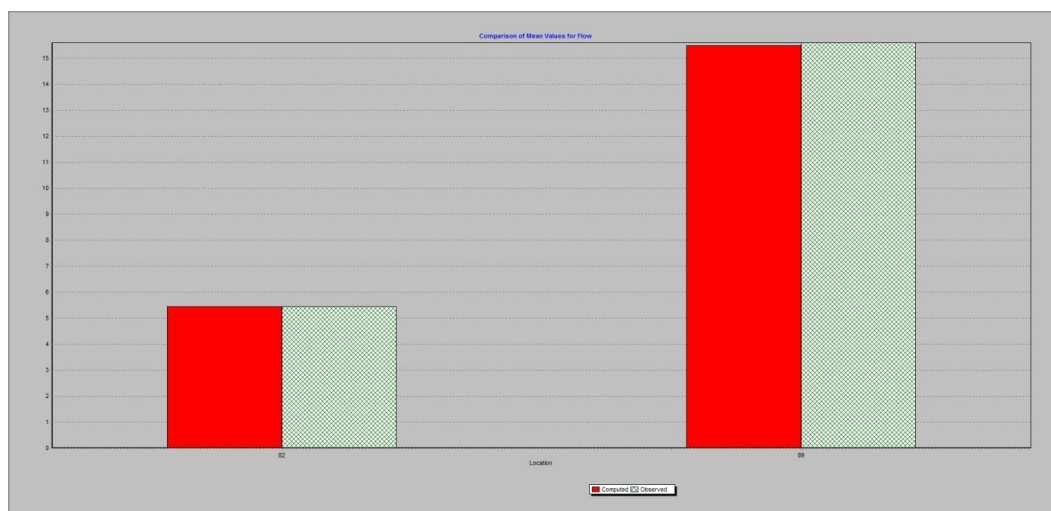


Gráfico 8 - Comparação entre os valores de caudal medidos e simulados (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Também se pode verificar que o comportamento do caudal modelado se aproxima, ao longo do dia, do caudal medido nos respetivos troços de saída do reservatório Cavalinha e de saída do reservatório S. Gens, conforme se pode analisar nos gráficos seguintes, Gráficos 9 e 10.

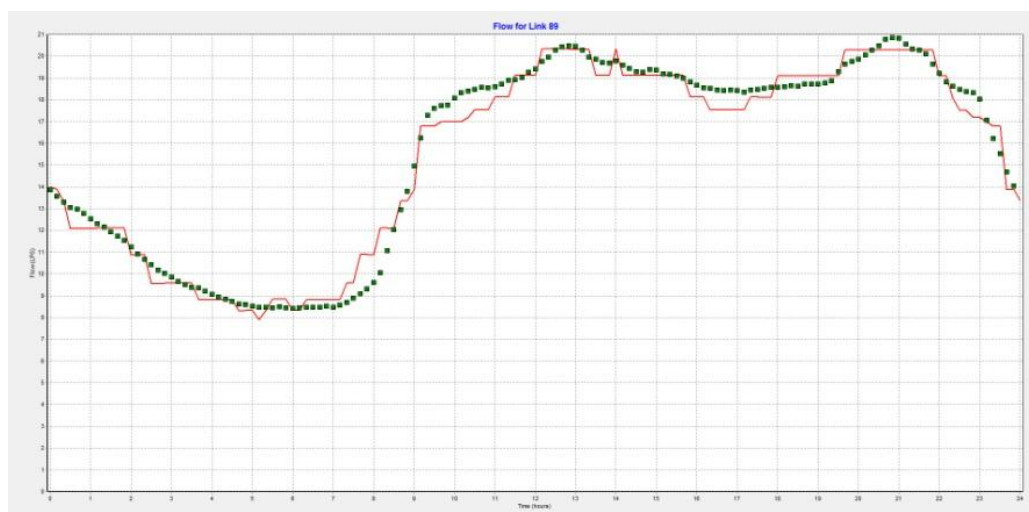


Gráfico 9 - Caudal à saída do reservatório Cavalinha. Comparação entre o valor medido e simulado (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

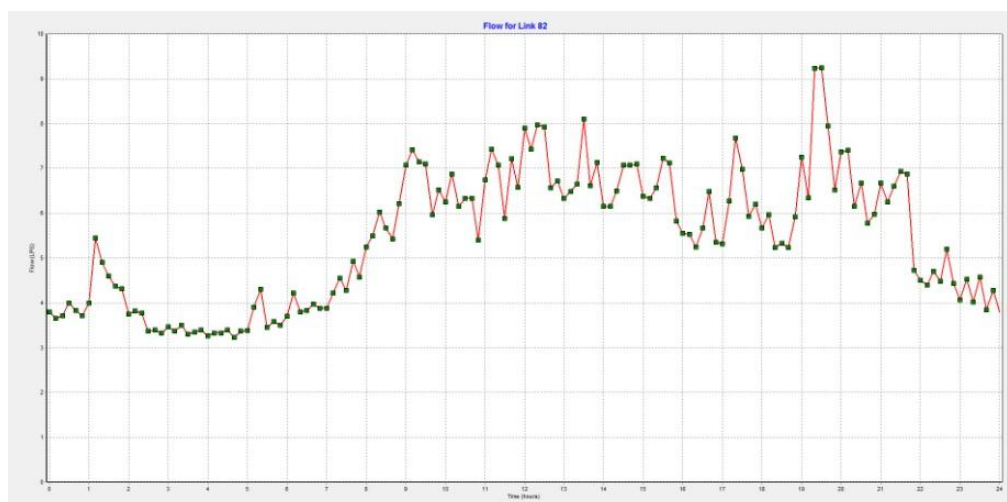


Gráfico 10 - Caudal à saída do reservatório S. Gens. Comparação entre o valor medido e simulado
(Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Tendo em conta a comparação dos resultados do simulador com os resultados obtidos no terreno, pode-se dizer que se conseguiu chegar a um modelo que reflete o comportamento da rede de distribuição de água em estudo, tanto a nível de pressões como de caudal. Assim, pode concluir-se que o modelo simulado encontra-se calibrado com exatidão suficiente para o objetivo pretendido.

4.5. Análise de resultados

Uma rede de distribuição devidamente modelada tem como vantagem imediata o aprofundamento do conhecimento sobre o seu funcionamento, ou seja, o ganho de sensibilidade ao seu comportamento. O modelo reúne, num único suporte, uma diversidade de informação compilada com o objetivo de entender o sistema (Coelho *et al.*, 2006).

Após o modelo estar calibrado, pode iniciar-se a sua análise através da realização de simulações.

4.5.1. Análise de pressões na rede de distribuição de água de Montemor

De acordo com o RGSPDADAR (Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais), as pressões de serviço devem compreender-se entre 100 kPa e 600 kPa (aproximadamente, entre 10 e 61 m c.a.) e, por motivos de conforto e durabilidade dos materiais, é aconselhável que a variação máxima sentida ao longo do dia não ultrapasse os 300 kPa (aproximadamente, 30 m c.a.).

Fazendo uma análise mais atenta ao Gráfico 2 (apresentado no capítulo 4.4), observa-se que, nos pontos em que se instalaram os transdutores de pressão, os que têm menor cota

apresentam valores de pressão muito elevados, chegando mesmo a ultrapassar o valor estabelecido regulamentarmente (aproximadamente 61 m c.a.).

O simulador permitiu analisar as pressões de serviço da rede, Figura 43, onde, efetivamente, se verificou a ocorrência de pressões excessivas. Todos os nós que se encontram com a cor vermelha apresentam pressões iguais ou superiores a 60 m c.a..

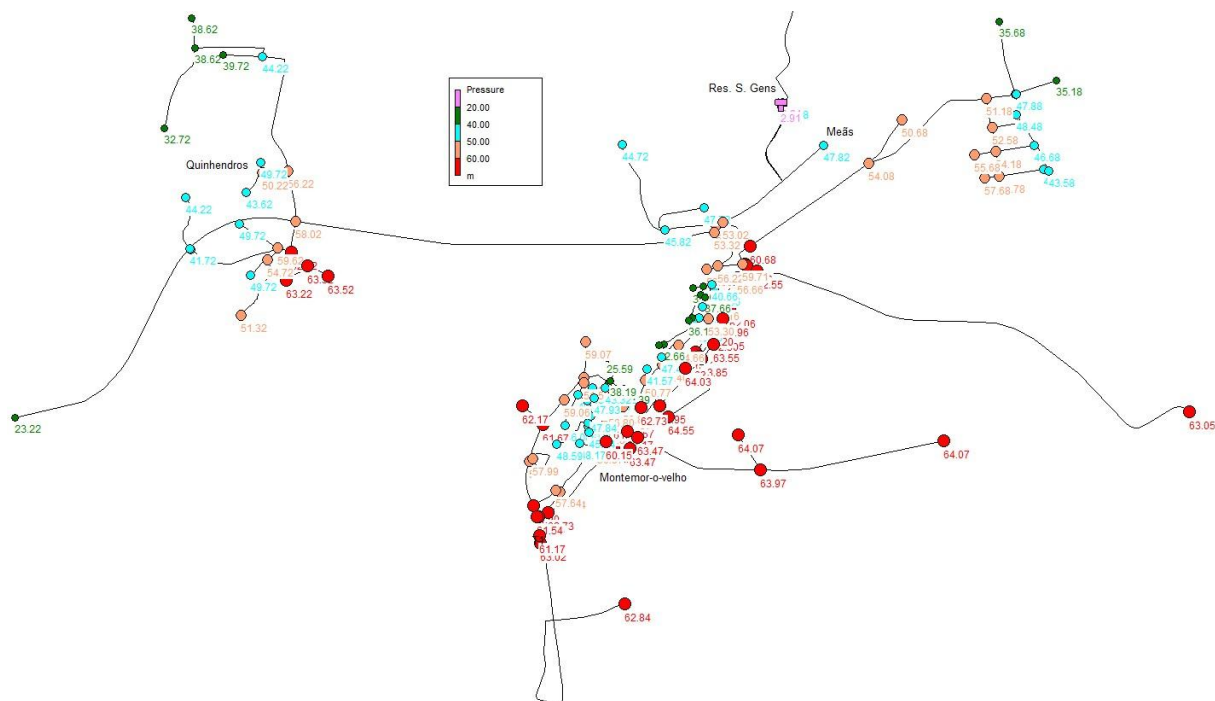


Figura 43 – Pressões de serviço na rede, obtidas através de simulação (Imagem extraída do software *WaterNetGen*)

Outra condicionante a considerar é a idade das condutas, pois, como se trata de uma zona histórica, a maior parte destas é muito antiga. Conciliados estes dois fatores, pode-se encontrar a justificação para o facto de, ao avaliar o caudal mínimo noturno, não se observarem as melhorias esperadas pois, quando se realizam reparações de roturas existentes, surgem outras novas.

4.5.2. Análise do consumo de energia elétrica do grupo de bombagem do reservatório Sargaço

Após aceder às faturas do consumo de energia do sistema em estudo, foi feita uma análise global das mesmas, com a qual foi possível perceber que uma boa parte do consumo é atribuída às captações da Fonterma e à estação elevatória do reservatório Sargaço. Com o modelo tentou-se perceber se haveria possibilidade de reduzir a fatura através da alteração das regras atuais de operação das bombas.

Com a situação atual de operação das bombas, o reservatório Cavalinha vê o seu nível variar em cerca de trinta centímetros, como é possível observar no Gráfico 11. Trata-se de uma flutuação bastante reduzida, face à capacidade total deste reservatório, o que obriga ao arranque e paragem constantes das bombas.

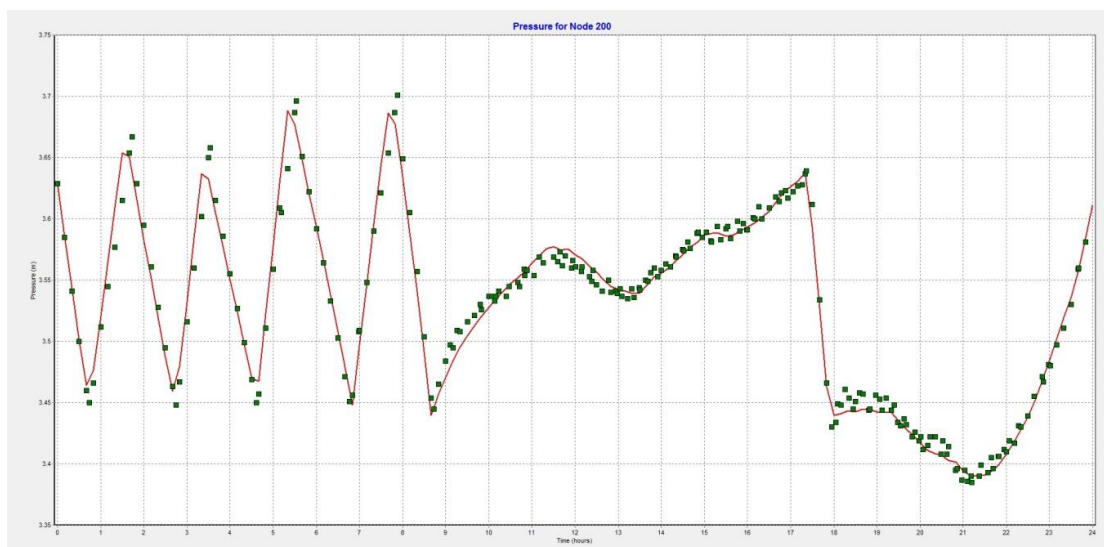


Gráfico 11 - Nível de água disponível no reservatório Cavalinha. Comparação entre o valor medido e simulado (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Relativamente ao consumo de energia por parte do sistema de bombagem, obteve-se o relatório apresentado na Tabela 4. Para cada uma das bombas, é apresentada a percentagem de utilização, a eficiência média, o valor em quilowatt hora (kWh) consumido para bombear um metro cúbico (m³) de água, a potência média diária em quilowatt (kW), a potência de pico diário em quilowatt (kW) e o custo diário, tendo em conta o tarifário carregado no modelo.

Tabela 4 – Relatório do consumo de energia das bombas do reservatório Sargaço, com as regras de funcionamento atualmente em vigor (Tabela extraída do software *WaterNetGen*)

Energy Report						
Pump	Percent Utilization	Average Efficiency	Kw-hr /m3	Average Kwatts	Peak Kwatts	Cost /day
173	75.42	54.89	0.41	22.48	26.10	40.44
174	75.42	54.89	0.41	22.48	26.10	40.44
Total Cost						80.88
Demand Charge						0.00

Após simular diferentes regras de operação chegou-se à seguinte solução: permitir uma maior flutuação do nível de água no reservatório, tendo sido fixada entre os três e os quatro metros (m), definir o arranque das bombas às oito horas, independentemente do nível de água que exista, e impedir o funcionamento das bombas entre as nove e as doze, horas em que é aplicado o valor mais elevado de custo de energia e respetivas taxas, pois são chamadas de horas de ponta.

Obteve-se um comportamento, em relação ao nível de água no reservatório, mais regular, com menos oscilações devido à permissão de flutuações de maior amplitude, o que leva a menos arranques e, conseqüentemente, menores consumos de energia (apesar de estes não serem calculados no simulador), como se pode observar no Gráfico 12.

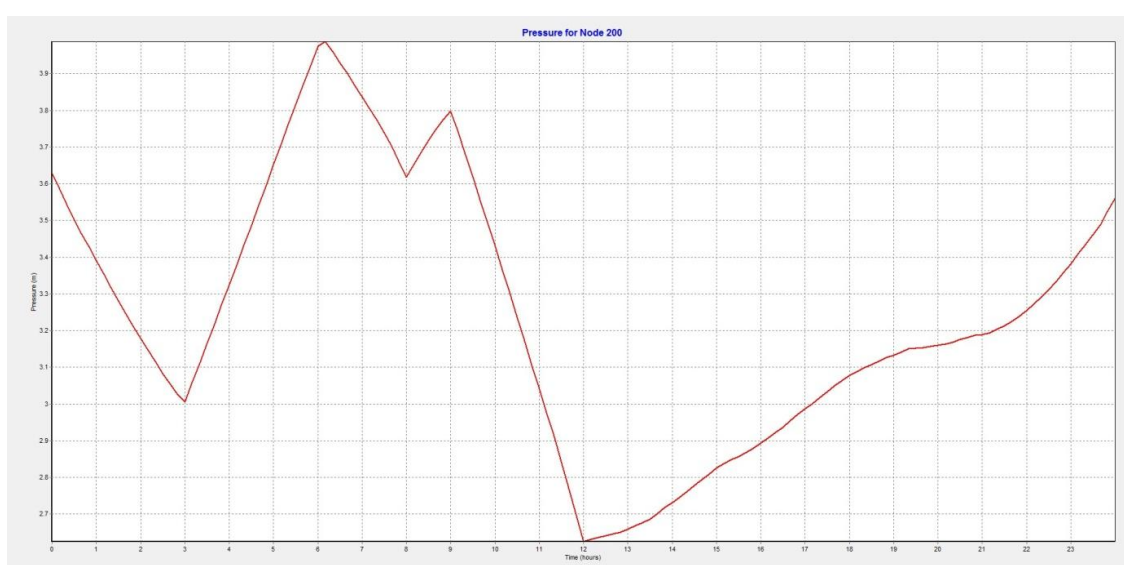


Gráfico 12 - Nível de água disponível no reservatório Cavalinha. Simulação com novas regras de operação (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Pode-se observar que há um abaixamento do nível de água para além do nível mínimo estabelecido (3 m). O nível mínimo de água alcançou os 2,6 m. No entanto, o reservatório restabeleceu o seu nível até ao final do dia, sendo de salientar que os níveis de água inicial e final tomam valores semelhantes.

Aplicadas estas regras, obteve-se um novo relatório do consumo de energia para o sistema de bombagem, que é possível observar na Tabela 5.

Tabela 5 - Relatório do consumo de energia das bombas do reservatório Sargaço, com as novas regras de operação (Tabela extraída do software *WaterNetGen*)

Pump	Percent Utilization	Average Efficiency	Kw-hr /m3	Average Kwatts	Peak Kwatts	Cost /day
173	68.19	55.00	0.42	25.33	26.10	39.52
174	68.19	55.00	0.42	25.33	26.10	39.52
Total Cost						79.05
Demand Charge						0.00

Fazendo uma análise comparativa com o relatório obtido para a atual situação de operação das bombas, pode-se verificar um ligeiro aumento da eficiência média das bombas, que vêm a sua percentagem de utilização diminuída em mais de 7%. Nota-se um ligeiro aumento no consumo por m³ de água bombeado e no consumo médio diário, no entanto, o consumo de pico mantém-se inalterado.

Em termos de poupança propriamente dita, o custo diário viu-se reduzido em 1,83€, quantia que pode não se mostrar significativa, mas, a verdadeira poupança reflete-se no valor que toma a taxa de acesso de potência em hora de ponta. Esta taxa, de acordo com as faturas analisadas, toma o valor de 0,23€/kW/dia.

Para uma potência de pico de 26,10 kW:

$$T. \text{Acesso}_{\text{ponta}} = 26,10 \times 0,23 = 6,0 \text{ €/dia}$$

Ou seja, se as bombas não iriam trabalhar em horas de ponta, este valor não seria aplicável, segundo as novas regras de operação. Recalculando, a dimensão da possível poupança (P):

$$P = 1,83 + 6,0 \cong 7,8 \text{ €/dia}$$

Por mês, seria:

$$P = 7,8 * 30 \cong 235 \text{ €/mês}$$

E por ano:

$$P = 235 * 12 \cong 2820 \text{ €/ano}$$

Estas medidas, em nada afetam o abastecimento do reservatório S. Gens, que apresenta níveis de água semelhantes na simulação para a situação operacional atual e na simulação com as referidas novas regras, como se pode observar comparando os Gráficos 13 e 14.

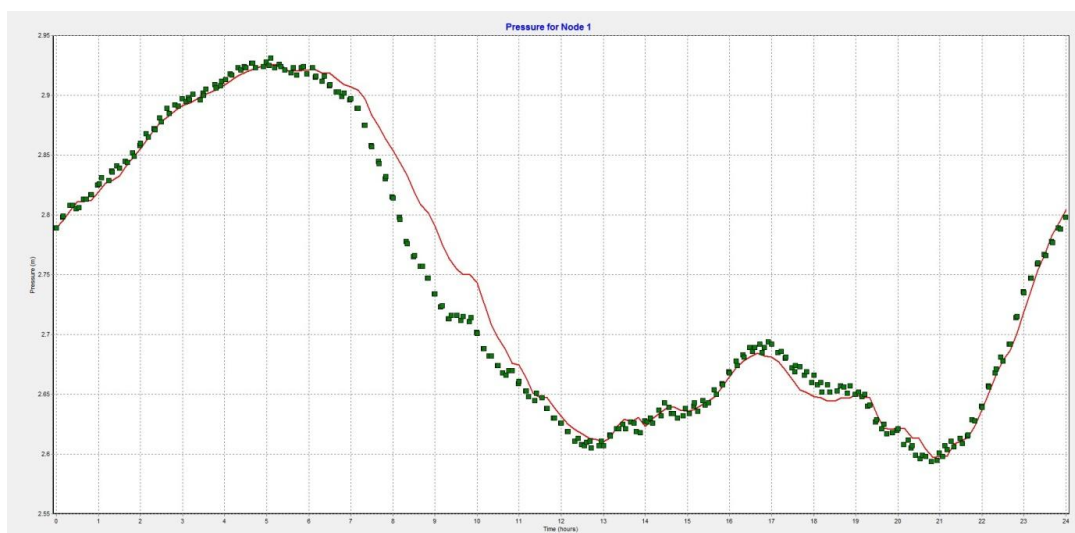


Gráfico 13 - Nível de água disponível no reservatório S. Gens. Comparação entre o valor medido e simulado (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)



Gráfico 14 - Nível de água disponível no reservatório S. Gens. Simulação com novas regras de operação (Gráfico extraído do software *WaterNetGen*)

Estas regras podem, facilmente, ser impostas na prática ajustando os níveis de arranque e paragem das bombas e recorrendo à instalação de um relógio temporizador no quadro elétrico. Este é um equipamento que facilmente se encontra numa pesquisa na web, como é o caso do que se vê na Figura 44.



Figura 44 - Relógio temporizador de programação semanal, para instalação em quadros elétricos
(Imagem retirada do site AKI)

Os preços variam entre os 20 e os 40€, e tem que se contabilizar também a mão-de-obra, no entanto, rapidamente se alcançaria o retorno do investimento.

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma das atuais preocupações centrais das EG responsáveis pelos SAA é o elevado volume de água que se perde. Constitui um grave problema em termos económicos, sociais e ambientais. Contudo, inicialmente, com pouco investimento é possível reduzir estes valores, sendo fundamental ter um correto conhecimento da rede e definição dos seus principais problemas.

Os sistemas de abastecimento de água que asseguram a produção e distribuição devem ser devidamente projetados e mantidos em boas condições, de modo a reduzir ao máximo o volume de perdas de água. As perdas económicas associadas às perdas de água refletem-se na fatura dos consumidores.

Com base nisso, e tendo em conta o impacto ambiental, todos nós, cidadãos, devemos adotar uma postura proactiva no que diz respeito ao controlo das perdas de água, através da comunicação às EG da localização de fugas de água visíveis.

No presente trabalho foi desenvolvida pesquisa acerca das questões associadas ao combate às fugas e perdas em SAA e de algumas ferramentas de apoio a esse combate. Para definir uma estratégia de combate a fugas e perdas faz-se o cálculo do balanço hídrico, a partir do qual é possível determinar o volume de água perdido no sistema. Importa, posteriormente, detetar a localização das fugas, que se pode realizar essencialmente por dois métodos: por meios de deteção físicos e por modelos matemáticos.

A construção de um modelo hidráulico para um sistema de distribuição de água demonstrou-se um processo complexo e exigente, mas, após a sua construção e conveniente calibração, será possível retirar do mesmo inúmeras vantagens. Facilmente se obterá o retorno do investimento realizado inicialmente, tornando a utilização do modelo num instrumento que permitirá às empresas atingir patamares mais elevados, na constante procura da eficiência dos serviços prestados.

O modelo poderá servir, no futuro, para validar algumas situações que possam não estar consideradas no cadastro atual, tais como, válvulas fechadas, travessias ou ligações, entre outras, e verificar a ocorrência de situações anómalas na rede.

Durante as visitas ao terreno para confirmação do levantamento da rede, foram desenvolvidas campanhas de deteção de fugas recorrendo ao geofone. Nestas campanhas foram detetadas fugas que de imediato foram reportadas, a quem de responsabilidade. No entanto, as que foram reparadas não apresentaram melhorias ao nível do registo do CMN, o que pode significar que tenham ocorrido outras roturas, ou ampliação de algumas existentes, devido ao impacto causado pelo restabelecimento do serviço, aliado à pressão de serviço excessiva, fator que se confirmou recorrendo ao modelo de simulação criado. À data do término do estágio algumas continuavam por reparar. Pelo que, salienta-se que a rapidez de atuação nas reparações é um aspeto a melhorar.

Ainda com o auxílio do modelo hidráulico, concluiu-se que, a CMMV poderia alcançar uma poupança relativamente próxima dos 3 milhares de euros por ano na fatura da energia elétrica, através da alteração das regras atuais de operação das bombas. As novas regras consistem em suspender o funcionamento das bombas em horas de ponta, período em que o tarifário de energia elétrica toma o seu valor mais elevado, e, deste modo, via-se também excluída a cobrança da taxa de acesso de potência em hora de ponta, que é de onde se reflete a principal poupança.

Sublinha-se que o valor da poupança que se apresenta, foi calculado apenas para um dos sistemas que abastece o concelho. Tendo em conta que existem mais 5 sistemas que são abastecidos por captações próprias, fica em aberto a verdadeira dimensão que a redução da fatura da energia elétrica tomaria aplicando esta medida.

Relativamente a trabalhos futuros, seria interessante proceder à realização de modelos hidráulicos das redes dos restantes sistemas do concelho, e fazer-se um estudo da diminuição das perdas de água através do controlo da pressão na rede.

De forma a alcançar a redução de perdas de água deve-se dar a devida importância às perdas aparentes, pois são bem mais complexas de contabilizar que as perdas reais de água, pelo que se devem definir e realizar verificações de rotina a contadores, ligações, fiscalizações em obras realizadas, ações de sensibilização à população e apostar na formação dos operários e consolidação de conhecimentos dos mesmos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas do Norte, S.A (2015). <http://www.adnorte.pt/pt/comunicacao/galeria/detalhe-galeria-imagens/?id=61&img=151&bl=20>. Águas do Norte, Grupo Águas de Portugal, Portugal (acedido em abril de 2018).
- Águas do Norte, S.A (2015). <http://www.adnorte.pt/pt/educacao-ambiental/ciclo-urbano-da-agua/tratamento-de-agua/?id=115>. Águas do Norte, Grupo Águas de Portugal, Portugal (acedido em abril de 2018).
- AKI (2018). <https://www.aki.pt/eletricidade/equipamento-para-quadros-electricos/equipamento-para-quadros-electricos/outros-equipamentos-modular/programadorsemanalparaquadroelectrico-p48079.aspx>. AKI, Grupo ADEO, Portugal (acedido em dezembro de 2018).
- Alegre, H., Coelho, S., Almeida, M., Vieira, P. (2005). *Guia Técnico 3: Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Campo d'Água (2018). <http://campodagua.pt/projetos/morgavel/>. Engenharia e Gestão, Ltda., Alfragide, Portugal (acedido em maio de 2018).
- Carvalho, H. (2014). *Redução de Perdas Reais de Água em Sistemas de Abastecimento de Água: Definição de critérios para delimitação de zonas de medição e controlo*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Coelho, S., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). *Guia Técnico 4: Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Cortês, A. (2015). *Fugas e Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Diário de Notícias (2018). <https://www.dn.pt/sociedade/interior/agua-nao-cobrada-gera-perdas-de-235-milhoes-de-euros-ao-ano-no-pais-5740188.html>. (acedido em abril de 2018).
- Elementos de apoio às aulas de “Hidráulica Aplicada I” (Armazenamento), https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/147592/mod_resource/content/1/HA%201%20-%20Cap%C3%ADtulo%209%20-%20Armazenamento.pdf. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (Consultado em abril de 2018).
- Elementos de apoio às aulas de “Hidráulica Aplicada I” (Constituição de sistemas de abastecimento de água), https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/142389/mod_resource/content/1/HA%201%20-%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20sistemas%20de%20abastecimento.pdf.

[20-%20Cap%C3%ADtulo%203%20-%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20de%20sistemas%20de%20abastecimento%20de%20%C3%A1gua.pdf](#) . Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (Consultado em abril de 2018).

Elementos de apoio às aulas da disciplina de “Hidráulica Urbana” (Importância das perdas de Água).

https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/160718/mod_resource/content/1/1%20-%20Import%C3%A2ncia%20das%20Perdas%20de%20%C3%81gua.pdf. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra (Consultado em abril de 2018).

Elementos de apoio às aulas da disciplina de “Hidráulica Urbana” (Perdas aparentes).

https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/160720/mod_resource/content/1/3%20%20Perdas%20aparentes.pdf . Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra (Consultado em maio de 2018).

Elementos de apoio às aulas da disciplina de “Hidráulica Urbana” (Perdas reais – Medidas de combate).

https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/160722/mod_resource/content/1/4.2%20-%20Perdas%20reais%20-%20Medidas%20de%20combate.pdf. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra (Consultado em maio de 2018).

Elementos de apoio às aulas da disciplina de “Hidráulica Urbana” (Perdas reais – Monitorização e controlo).

https://moodle.isec.pt/moodle/pluginfile.php/160723/mod_resource/content/1/5%20%20Perdas%20reais%20-%20Monitoriza%C3%A7%C3%A3o%20e%20controlo.pdf. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra (Consultado em maio de 2018).

Elementos de apoio às aulas da disciplina de “Gestão Avançada de Sistemas de Abastecimento de Água” (Aula 12 – Controlo de perdas de água).

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571875904/Aula%2012%20-%20Parte%20III%20Controlo%20de%20Perdas.pdf>. Instituto Superior Técnico, Lisboa (Consultado em maio de 2018).

ERSAR. (2018). *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2017), Volume 1 – Caracterização do setor de águas e resíduos*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR).

ESTRUTOVIA. <http://estrutovia.pt/project/inspecao-subaquatica-a-torre-de-captacao-de-agua-da-barragem-de-castelo-do-bode/?lang=en>. Consultores de Engenharia S.A, Lisboa (acedido em maio de 2018).

Fernandes, J. (2014). *Redução de Perdas Aparentes em Sistemas de Abastecimento de Água: Definição de critérios para identificação de consumos fraudulentos*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

-
- Ferreira, A. (2017). *Deteção e Avaliação de Fugas e Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Gomes, R. J. (2011). *Modelação Matemática como Ferramenta de Gestão e Exploração de Sistemas de Distribuição de Água*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- ISQ. <https://www.isq.pt/BR/distribuicao-agua-inteligente-eficiente/>. Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), Grupo ISQ, Portugal (acedido em setembro de 2018).
- Loureiro, D., Coelho, S. T. (2002). *EPANET 2.0 em português – Manual do Utilizador*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.
- Martinho, S. (2013). *Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – INOVA (Cantanhede)*. Relatório de Estágio para a obtenção de grau de Mestre, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- MFRural, <https://www.mfrural.com.br/detalhe/tubos-de-pvc-tigre-143176.aspx>. MF Rural, Marília/São Paulo, Brasil (acedido em maio de 2018).
- Montemor-o-Velho Município, <http://www.cm-montemorvelho.pt/index.php/residentes/ambiente>, Câmara Municipal de Montemor-o-Velho, Portugal.
- PEVEDUTO (2018). <http://peveduto.com.br/espessura-dos-tubos-pead-qual-medida-atende-a-necessidade-da-sua-obra/>. Peveduto Plásticos Afins Ltda., Grupo Peveduto, Brasil (acedido em maio de 2018).
- Pinto, T. (2010). *Modelação e Calibração de um Sistema de Abastecimento de Água*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Pure Technologies Ltda. (2018). https://puretechltd.com/articles/leak-mystery-solved-with-tethered-inline-sahara-tool/content_sahara_2/. Pure Technologies, Canadá (Consultado em novembro de 2018).
- Pure Technologies Ltda. (2018). <https://puretechltd.com/technology/smartball-leak-detection/red-smartball-core/>. Pure Technologies, Canadá (Consultado em novembro de 2018).
- RGSPDADDAR. (1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais*. Portugal.
- Rossman, L. A. (2000). “*EPANET 2 Users Manual*”. Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati – Ohio, Estados Unidos da América.
- SANESOLUTI. <https://sanesoluti.com.br/produto/geofone-digital-hl5000/>. Sanesoluti, Guarulhos/São Paulo, Brasil (acedido em novembro de 2018).
-

-
- 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*. EPAL Technical Editions, 2ª Edição.
- Sousa, E. R. (2001). *Sistemas de Abastecimento de Água*. Elementos de apoio à disciplina de “Saneamento Ambiental I”, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura; Secção de Hidráulica e dos Recursos Hídricos e Ambientais - Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Teixeira, R. (2015). *Uso Sustentável da Água: Avaliação de benefícios adotando eficiência hídrica em edifícios*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling*. Haestad Methods Press, EUA (www.haestad.com).