

PAULO JORGE DELGADO CHAVEIRO

**MODELAÇÃO E CALIBRAÇÃO HIDRÁULICA DA REDE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE REGUENGOS DE MONSARAZ**



2018

PAULO JORGE DELGADO CHAVEIRO

**MODELAÇÃO E CALIBRAÇÃO HIDRÁULICA DA REDE DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE REGUENGOS DE MONSARAZ**

Mestrado em Ciclo Urbano da Água

Trabalho efetuado sob orientação de:
Jorge Manuel Guieiro Pereira Isidoro



2018

"Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída."

Paulo Cheveno

“A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respectivos.”

AGRADECIMENTOS

Ao chegar ao fim de mais uma etapa da minha vida pessoal e profissional não posso terminar sem efetuar alguns agradecimentos sentidos. Assim sendo, quero agradecer à minha família, nomeadamente ao meu pai e à minha mãe, Eliseu e Antónia Chaveiro, por nunca me terem deixado de apoiar e incentivar a continuar a aprender mais e mais, nem que para isso tivessem que insistir durante algum tempo. À minha esposa, Eunice Pimpão, por ter sido, e por continuar a ser, o meu braço direito em tudo e o meu suporte mais profundo. Sem o seu apoio e generosidade dificilmente seria possível avançar este desafio. Ao meu filho, Rafael Pimpão Chaveiro, por ser a cada dia que passa a minha maior fonte de inspiração e o meu suporte emocional. A todos os restantes familiares e amigos, que me têm acompanhado, quero que saibam que o vosso apoio me motiva.

Profissionalmente, quero deixar o meu agradecimento ao Município de Reguengos de Monsaraz, na pessoa do seu presidente e vereador, por terem percebido a mais-valia que este projeto, pessoal e profissional podia proporcionar à entidade e com isso me terem proporcionado todas as condições para a realização do trabalho. O agradecimento é extensivo a todos os trabalhadores do serviço de Águas e Saneamento Básico, pelo apoio na instalação dos dataloggers, muito importante para o trabalho na sua componente de campo. Por último, agradecer à Universidade do Algarve, aos responsáveis do mestrado em Ciclo Urbano da Água e ao meu orientador Jorge Isidoro por me terem acompanhado nesta viagem de dois anos. Obrigado a todos!

RESUMO

As entidades gestoras têm como uma das suas missões obrigatórias a gestão eficiente das redes de distribuição de água. Neste sentido foi executada a modelação e calibração hidráulica da rede de abastecimento de água da cidade de Reguengos de Monsaraz. Para tal, foi utilizado o *software* EPANET 2.0, sendo a calibração efetuada com base nos dados de caudal de entrada na rede de distribuição e de uma campanha, especificamente realizada para este trabalho, de medição de pressão em 20 pontos de leitura. A cidade de Reguengos de Monsaraz tem 7261 habitantes numa extensão de rede de distribuição de água de 75.86 km, com 4156 ramais executados, mas somente 2736 consumidores com ramais ativos. A gestão do sistema de abastecimento (distribuição) de água em baixa é da competência do Município de Reguengos de Monsaraz. Segundo os dados de avaliação da qualidade do serviço, executada pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos, em 2016 a rede de distribuição de água teve perdas reais de 28% e um índice de água não faturada de 39%, sinais de uma rede envelhecida. Para a simulação da rede foram transpostos os dados do cadastro, através da plataforma SIGREDES, permitindo exportar um grande número de dados e topologia da rede para o formato de entrada de dados do EPANET 2.0. A campanha para medição da pressão permitiu a correta caracterização da evolução da pressão na rede. Para a localização dos pontos de medição foram tidos em atenção os diferentes tipos de consumidores, a topografia do terreno, bem como a tipologia e as idades das condutas. O modelo de simulação da rede permite testar novas soluções para a gestão da rede bem como a criação/simulação de zonas de medição e controlo (ZMC), com o objetivo último da promoção da redução de perdas reais de água.

Palavras-Chave

Modelação Hidráulica, Calibração, Rede de Distribuição de Água, Zona de Medição e Controlo (ZMC), Reguengos de Monsaraz, EPANET 2.0.

ABSTRACT

Water supply managing entities have as a mandatory mission an efficient management of water distribution networks. Within this scope the hydraulic modelling and calibration of the water supply network of the town of Reguengos de Monsaraz was carried out. For this purpose, EPANET 2.0 software was used, the calibration being based on data from inlet flow in the distribution network and from a pressure monitoring campaign specifically prepared for this work in 20 reading points. The town of Reguengos de Monsaraz has 7261 habitants and the extension of the water distribution network is of 75.86 km, with 4156 household mains connections, of which only 2736 are active. The management of the water supply system (distribution) is controlled by the Municipality of Reguengos de Monsaraz. According to the reports issued by the Portuguese Water and Waste Services Regulatory Agency, in 2016 the water distribution network had physical water losses of 28% and an unbilled water rate of 39%, signals of an ageing network. For the simulation of the network the register data was transposed through the SIGREDES platform, which allowed to export a large number of data and topology of the network to the data input format of EPANET 2.0. The pressure monitoring campaign allowed the correct characterization of the evolution of pressure in the network. For choosing the placement of the monitoring points, the different types of consumers, the topography, as well as the type and age of the water pipes were considered. The network simulation model allows the testing of new network management solutions as well as the creation / simulation of District Monitoring Areas (DMA), with the goal of promoting the reduction of water physical water losses.

Keywords

Hydraulic Modeling, Calibration, Water Distribution Network, District Monitoring Areas (DMA), Reguengos de Monsaraz, EPANET 2.0.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento geral	1
1.2	Objetivo	3
1.3	Estrutura	4
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Introdução	7
2.2	Componentes do SAA	7
2.3	Pensar a rede de distribuição de água de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto	10
2.3.1	Previsão do consumo de água	10
2.3.2	Perdas de água e os seus indicadores	12
2.3.3	Combate a incêndios e fatores de ponta	14
2.3.4	Pressões, velocidade, diâmetro nominal das condutas e os reservatórios	15
2.4	Tubos, acessórios e órgãos de manobra	17
2.5	Medidores de água	19
2.6	Controlo ativo de perdas de água e zonas de medição e controlo (ZMC)	20
2.7	Qualidade da Água	25
2.8	Modelação matemática de redes de abastecimento públicas	26
2.8.1	Início da modelação hidráulica de redes de abastecimento	27
2.8.2	Modelação matemática	29
2.8.3	Calibração do modelo	31
2.9	Modelos de simulação hidráulica	34
2.10	EPANET 2.0	37
2.11	EPANET 2.0 na verificação da qualidade da água	40
2.12	Caso de estudo de calibração	41
2.13	Modelos de gestão em Portugal do setor da água	43

2.14	Realidade do Alentejo Central	48
3.	CARATERIZAÇÃO DA REDE, TRATAMENTO DE DADOS E CALIBRAÇÃO	51
3.1	Caraterização da rede de abastecimento	51
3.2	Metodologia	56
3.3	Tratamento de dados	65
3.3.1	Dados de consumos	65
3.3.2	Dados de pressão	68
3.3.3	Padrões de consumo	72
3.4	Calibração do modelo	73
3.5	Testes preliminares para futuras opções de desenho hidráulico	82
4.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	87
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES À ENTIDADE GESTORA	95
	BIBLIOGRAFIA	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Exemplificação esquemática de uma rede ramificada (a) e emalhada (b)	8
Figura 2.2	Esquema dos principais elementos de um SAA (ERSAR, 2017)	9
Figura 2.3	Indicadores de desempenho relativos a perdas de água definidos pelo IWA Water Task Force (Sardinha et al., 2015)	13
Figura 2.4	Tipos de reservatórios (Marques e Sousa, 2008)	17
Figura 2.5	Esquema dos modelos de simulação dinâmica sob pressão	24
Figura 2.6	Esquema dos modelos de simulação dinâmica sob pressão	30
Figura 2.7	Esquema do caso estudo na cidade de Milão (Gama et al., 2015)	43
Figura 2.8	Distribuição geográfica e panorama dos serviços de abastecimento de água em baixa (ERSAR, 2017)	47
Figura 2.9	Modelo regulatório da ERSAR (ERSAR, 2017)	48
Figura 3.1	Relevo da cidade de Reguengos de Monsaraz seguindo o traçado da rede de distribuição de água (base de dados de topografia retirados do projeto SIGREDES)	52

Figura 3.2	Pontos de adução à rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz (a) – Reservatório Outeiro do Barro Velho, b) Outeiro do Barro Novo, c) Reservatório do Moinho de Vento, d) Reservatório do Moinho de Vento Elevado)	53
Figura 3.3	Fotografias demonstrativas das incidências mais comuns na rede de distribuição de Reguengos de Monsaraz (a), b) e e) e f) – roturas de água nas condutas de água; b), c) e d) – inoperacionalidade de órgãos de manobra, idade das condutas e natureza; c) -subdimensionamento da rede de distribuição de água; g) biofilme nas paredes das condutas de água).	55
Figura 3.4	Esquema da rede de abastecimento de água da cidade de Reguengos de Monsaraz retirado da plataforma SIGREDES	56
Figura 3.5	Instalação do <i>datalogger</i> nos 20 pontos de medição da pressão na rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz	61
Figura 3.6	Localização dos 20 pontos de medição da pressão na rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz	62
Figura 3.7	Localização dos bairros e ruas utilizados, a azul, para caracterização pontual de nós relativos ao consumo do tipo consumidor doméstico	63
Figura 3.8	Consumos diários em Reguengos de Monsaraz (dias úteis)	66
Figura 3.9	Consumos diários em Reguengos de Monsaraz (fins de semana)	66
Figura 3.10	Gráficos comparativos das pressões médias horárias entre dias de semana e fins de semana para as cinco campanhas de medições	70
Figura 3.11	Variação da pressão horária para os nós 02278 (Quinta da Luz) e 02264 (Rua Prof. Mota Pinto)	72
Figura 3.12	Padrões de consumo criados para o modelo hidráulico (1 – consumidores domésticos; 2- indústria; 3 – grande consumidor; 4 – parque da cidade)	73
Figura 3.13	Gráficos comparativos entre as pressões medidas e simuladas (pré-calibração)	75

Figura 3.14	Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Praceta Sá Carneiro, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo	77
Figura 3.15	Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Parque da Cidade, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo	78
Figura 3.16	Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Rua de Mourão, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo	79
Figura 3.17	Padrões de consumo do grande consumidor (CARMIM), para a situação de pré-calibração (a) e pós calibração (b)	79
Figura 3.18	Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Rua Professor Mota Pinto, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo	80
Figura 3.19	Planta do modelo simulado, após calibração, da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz às 16:00 com os dados, através de cores, das pressões nos nós e velocidade de escoamento nos troços de conduta	82
Figura 3.20	Desenho representativo da possível criação da ZMC em Reguengos de Monsaraz (teste preliminar 2)	84
Figura 4.1	Comportamento da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz às 11:00, 17:00 e 23:00 – a), b) e c) respetivamente	88
Figura 4.2	Diagrama de pressões na rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz às 11:00 (a)), 17:00 (b)) e 23:00 (c))	90
Figura 4.3	Balanço dos caudais aduzidos à rede de distribuição de água durante 72 horas de simulação	91
Figura 4.4	Diagrama comparativo na rede de abastecimento de água às 11:00 e 23:00 com a criação de quatro ZMC	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Comparação de modelos de software para simulação hidráulica	36
Tabela 2.2	Objetos Físicos do modelo de simulação EPANET 2.0 (Loureiro e Coelho, 2004)	39
Tabela 2.3	Objetos não físicos do modelo de simulação EPANET 2.0 (Loureiro e Coelho, 2004)	39
Tabela 2.4	Modelo de gestão dos serviços de águas e resíduos em Portugal (ERSAR, 2017)	44
Tabela 2.5	Benchmarking das entidades gestoras do Alentejo Central ((1) n.º/1000 ramais·ano; (2) n.º/ 100 km. ano; (3) l/ramal·dia; (4) kWh/ (m ³ ·100m)). (RASARP 2017)	49
Tabela 3.1	Dados das infraestruturas base da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz (dados ERSAR 2017)	54
Tabela 3.2	Valor de C para a fórmula de Hazen – Williams e para o valor do coeficiente de perda de carga singular para as válvulas (e.g., Marques e Sousa, 2008)	58
Tabela 3.3	Fichas de identificação dos pontos de monitorização de pressão na rede de abastecimento de Reguengos de Monsaraz	59
Tabela 3.4	Consumos base calculados e distribuídos	65
Tabela 3.5	Consumos diários medidos em Reguengos de Monsaraz durante a campanha de monitorização	67
Tabela 3.6	Pressões Médias Horárias Medidas (dias úteis)	69
Tabela 3.7	Pressões Médias Horárias (fins de semana)	69
Tabela 3.8	Variação das pressões observadas nos períodos de maior consumo	71
Tabela 3.9	Valores das correlações entre a pressão medida e a simulada, antes e após a calibração	81
Tabela 3.10	Quadro relativo à substituição das condutas para o teste preliminar 1	83
Tabela 3.11	Quadro relativo à delimitação das ZMC e operacionalidade das válvulas	85
Tabela 4.1	Quadro representativo das melhorias da pressão e velocidade de escoamento com as propostas de alteração das condutas no teste preliminar 1	92

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento geral

O acesso a água potável é tido como pedra angular de toda uma população. Devido ao grande crescimento demográfico das povoações, assim como ao aumento das necessidades hídricas para o abastecimento público e à indústria, alterou-se o paradigma para as condições de operação e de optimização das infraestruturas de distribuição de água. De facto, somente o garante de um bom serviço de distribuição de água permitirá o crescimento industrial assim como a manutenção da qualidade de vida das populações e a garantia da saúde pública, sendo por isso vital para as entidades gestoras aumentarem o seu conhecimento acerca de boas práticas. Cada vez mais se verifica o aumento de infraestruturas antigas de distribuição de água, em alguns casos, há muito a necessitarem de substituição e sofrendo também problemas de sub ou de sobredimensionamento. As redes de distribuição de água, enquanto infraestruturas físicas, devem ser dimensionadas para, pelo menos, as quatro décadas seguintes, pois apresentam reduzida flexibilidade de adaptação às alterações do tecido urbano. Esta realidade acarreta grandes dificuldades na gestão de uma rede de abastecimento, pelo que perante cenários de crescimento não programado da área urbana, não raras vezes, a rede de distribuição de água não permite uma resposta viável para fazer face às novas necessidades de consumos. O dimensionamento para o crescimento de uma rede, em suma, deverá ter em conta não só a reabilitação dos sistemas de distribuição de água potável como também o desenvolvimento de sistemas de distribuição que prestem serviço às novas zonas de expansão urbana. A distribuição de água em áreas urbanas é tradicionalmente subdividida em três componentes essenciais: condutas, acessórios e órgãos (estações de bombagem ou pontos elevados que permitem a pressurização da rede de distribuição de água) (Mays, 2000; Liu *et al.*, 2013; Roma, 2015). Fica claro que no âmbito do Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2020 (PENSAAR 2020) se considera o sistema de abastecimento de água público (SAA) e o saneamento de águas residuais (SAR) urbanos - serviços públicos de carácter estrutural -, essenciais para o funcionamento do tecido social e económico, assim como para a proteção e melhoria da qualidade ambiental e da saúde pública. No futuro, os investimentos do setor estarão dependentes de fatores como a melhoria da qualidade das massas de água, sendo esse investimento proporcional à pressão resultante do ciclo urbano da água. A expansão das zonas urbanas e o subsequente aumento da concentração

populacional aumenta o risco e a vulnerabilidade à interrupção involuntária dos serviços devido a colapsos de infraestruturas de captação, adução, tratamento ou armazenamento de água. O colapso de apenas uma destas infraestruturas que abasteça uma grande área urbana, pode causar a interrupção do abastecimento público de água por períodos que afetem as condições de vida dessa população. No sentido de dar resposta ao garante de um serviço de qualidade, onde o acesso à água para todos foi uma premissa, no período 2007-2013 foi feito um importante esforço financeiro de infraestruturização, com o apoio de fundos comunitários que permitiram a acessibilidade física de aproximadamente 95% para o SAA de 80 % para o SAR.

Com a implementação do PENSAAR 2020 a eficiência dos SAA ganhou uma nova dimensão através de uma ativa avaliação e correção das subutilizações das infraestruturas ou ganhos de eficiência através da redução de perdas físicas nas redes de distribuição de água . Em Portugal os níveis de perdas de água são ainda muito elevados, originando ineficiências económicas e ambientais que se repercutirão no utilizador final. As perdas de água físicas poderão ser o sintoma de várias ineficiências da Entidade Gestora (EG) que a gere podendo, desde logo, ser por desconhecimento infraestrutural da rede, insuficiência de renovação da rede de distribuição, fragilidades operacionais no que aos recursos humanos e materiais diz respeito, falta de planos e escassez de investimento financeiro que suportem uma gestão mais profissional e ativa, ausência de sistemas de monitorização de redes e a dispersão de dados que, em vez de ajudar o gestor, cria enormes ruídos não lhe proporcionando a disponibilização da melhor informação para a tomada de decisão (PENSAAR 2020). O Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP 2017) na avaliação global ao abastecimento público de água em baixa reporta que em 2016 o acesso físico ao serviço é garantido em 100% à população que reside em áreas predominantemente urbanas, em 95% à área medianamente urbana e em 92% nas áreas predominantemente rurais. Revela ainda que as perdas físicas se cifram nos 126 l/ramal dia e que em média a água não faturada pelas entidades gestoras em Portugal é de aproximadamente 30%. Estes dados levantam desafios enormes para as entidades gestoras, tais como proporcionar as melhores respostas com o investimento mais racionalizado possível, a necessidade de um maior conhecimento da rede, de modo a auxiliar o decisor político a tomar as melhores decisões no que a investimentos na rede de distribuição diz respeito. Neste âmbito a modelação e a análise do sistema de abastecimento de água apresenta-se cada vez mais como uma ferramenta essencial para uma gestão eficaz na rede, ajudando a EG a um planeamento mais

cuidadoso, de acordo com parâmetros de maior eficiência e eficácia. Infelizmente, em muitos sistemas de abastecimento de água de Portugal, a modelação tem tido uma utilização efetiva muito reduzida na indústria da água, sendo quase somente utilizada na verificação de soluções de projeto (Coelho *et al.*, 2006). Os motivos para a fraca utilização de modelos hidráulicos da rede devem-se nomeadamente:

- » À fraca especialização técnica que permita uma correta abordagem ao desenvolvimento de modelos;
- » À dificuldade na criação de dados necessários para a construção e manutenção de um modelo;
- » À informação disponível ser insuficiente, estar dispersa ou simplesmente não ter coerência ou qualidade;
- » Ao fato de a manutenção do modelo exigir o estabelecimento de procedimentos sistemáticos e a afetação específica de recursos humanos, sem os quais o modelo se torna obsoleto muito rapidamente.

Os modelos de simulação são ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável, analisar e prever o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade da água, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Assim, estes modelos permitem uma rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação dos cenários mais variados, com suficiente aproximação sem ser necessário interferir com o sistema de distribuição de água em causa. Permitem também simular alternativas para a expansão / remodelação da rede, permitindo atingir soluções mais sustentáveis do ponto de vista técnico, económico e ambiental.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo modelar a rede de abastecimento de água da cidade de Reguengos de Monsaraz através:

- a) Da criação e calibração o modelo hidráulico da rede de distribuição de água da cidade de Reguengos de Monsaraz;
- b) Da avaliação da rede e processamento dos ajustes, quer do modelo, quer da própria rede de distribuição de forma a torná-la eficiente em termos de capacidade de fornecimento de água no seu todo, em momentos de ponta de consumo com pressões de conforto;
- c) Da criação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) para a rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, com vista a uma estratégia ativa de redução de perdas reais de água;

1.3 Estrutura

Para que os objetivos acima propostos sejam atingidos, é necessário conhecer os seguintes dados referentes à rede de abastecimento: i) Tipologia, geometria, altimetria, tipo de condutas, válvulas, reservatórios e outros elementos acessórios da rede; ii) Solicitações ao sistema, sob forma de consumos e caudais, tanto na sua distribuição espacial como na escala e variação temporal, para além da recolha de pressão em 20 pontos de monitorização da rede; iii) Identificação do número de válvulas de seccionamento fechadas. A simulação será realizada com o *software* EPANET 2.0 da *Environmental Protection Agency* (USEPA), com os dados e cadastro retirados de um sistema de informação geográfica, devidamente atualizado, através da plataforma do Alentejo Central - SIGREDES - com uma base de dados relacionais em ambiente SQL. O presente trabalho está organizado em cinco capítulos dos quais se apresenta em seguida um breve resumo.

Capítulo 1

Capítulo constituído pelo enquadramento, objetivos e estrutura do trabalho.

Capítulo 2

Apresenta-se a revisão bibliográfica na qual se dará ênfase à descrição do que é a rede de abastecimento pública, seus componentes e variáveis de modo a que se adquira um conhecimento prévio da base do trabalho. De seguida abordar-se-á a setorização e o controlo ativo de perdas da rede e toda potencialidade desta metodologia de modo a que a rede de distribuição de água venha a ser mais resiliente, eficiente e melhor gerida. Segue-se uma abordagem à modelação hidráulica, métodos de calibração e à principal ferramenta computacional utilizada no estudo, o EPANET 2.0, de modo a que se adquiram conhecimentos gerais que permitam entender toda a abordagem que subsequentemente se fará relativamente ao caso de estudo, levantamento e tratamento dos dados e desenvolvimento do modelo hidráulico. Por último, um breve enquadramento dos modelos de gestão do setor das águas em Portugal e também da região onde a entidade gestora, Município de Reguengos de Monsaraz, está inserida através da apresentação de um estudo de *benchmarking*.

Capítulo 3

Descreve o caso de estudo do presente trabalho através de uma primeira contextualização da rede de abastecimento que integra o estudo – Rede de Abastecimento de Água em Baixa da Cidade de Reguengos de Monsaraz - com uma caracterização da área de estudo e a descrição dos elementos físicos constituintes do sistema, assim como, a breve descrição dos problemas do dia-a-dia com que a EG se depara e para os quais o estudo eventualmente permitirá ao decisor técnico e/ou político uma abordagem corretiva adequada. Serão também abordadas as ferramentas utilizadas para recolha de dados do sistema, nomeadamente dados topológicos, topográficos e de desenho da rede de abastecimento para além da metodologia adoptada para a campanha de recolha de dados. Far-se-á a descrição do levantamento e do tratamento dos dados para o modelo através:

- a) Do registo de caudais de saída dos reservatórios e registo dos dados de pressão da rede de abastecimento;
- b) Das séries de dados;
- c) Da integração do cadastro em formato GIS para EPANET e tratamento dos dados.

De seguida apontar-se-á o desenvolvimento do modelo, através da comparação de resultados do mesmo e resultados das medições realizadas no sistema físico, através da observação do número de grandezas possíveis neste trabalho que permitirá um modelo que reflita o sistema físico. Este passo, assim como a obtenção de dados, serão elementares para a obtenção de uma adequada leitura dos resultados. A calibração da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz será efetuada onde e quando o modelo o exigir, através da correção dos consumos e rugosidades das condutas.

Capítulo 4

Neste capítulo far-se-á a discussão dos resultados do modelo hidráulico simulado e calibrado, realizando-se assim, uma avaliação da própria rede de distribuição.

Capítulo 5

Neste capítulo apresentar-se-ão as conclusões do trabalho realizado, e serão efetuadas sugestões e/ou soluções para melhoramento da eficiência da rede, bem como evoluções futuras a desenvolver pelo autor e pela EG.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

O SAA de uma cidade é, em geral, uma enorme indústria de produção ou aquisição, armazenamento e distribuição de água, sendo que os serviços prestados pela EG aos consumidores terão que assentar em três objetivos fundamentais: 1) a preservação da saúde pública; 2) garantir a qualidade do serviço e 3) garantir o acesso á água potável a um preço económico e socialmente aceitáveis (Murphy, 2003; Souza e Costa da Silva, 2013). De que se trata um sistema de distribuição de água? Pode definir-se sistema ou rede de distribuição de água como a unidade parcelar do sistema de abastecimento de água, constituída pelo conjunto de condutas e demais elementos que asseguram o transporte de água e a sua distribuição a partir de reservatórios até aos consumidores, garantindo a qualidade da água e a pressão de serviço adequadas. Numa rede de distribuição de água as condutas realizam o transporte de água sob pressão entre um ou mais pontos de consumo, tendo variados diâmetros de diferentes materiais constituintes. Para que a rede de água, mais concretamente a tubagem, possa efetuar derivações, mudanças de seção, mudanças de direção e ligações a outros elementos existem dispositivos que normalmente se denominam de acessórios, como por exemplo tês, curvas, reduções ou juntas de ligação. Os elementos especiais são os mais variados dispositivos que permitem condicionar os escoamentos nas condutas, seja por diminuição ou aumento de pressão ou por regulação de caudal. Os elementos que requerem mais atenção na análise hidráulica de sistemas ou redes de distribuição de água são os reservatórios, estações elevatórias, sobressoradoras, válvulas de retenção, válvulas redutoras de pressão e válvulas de seccionamento.

O modelo hidráulico descrito nesta dissertação reflete com o maior rigor possível o sistema de distribuição de água da cidade de Reguengos de Monsaraz.

2.2 Componentes do SAA

O traçado da rede pode ser ramificado, emalhado e misto. As redes ramificadas, Figura 2.2.1, alínea a), caracterizam-se pelo sentido de escoamento ser bem definido e o caudal, em cada troço,

ser somente em função dos consumos a jusante. As redes emalhadadas, Figura 2.2.1, alínea b), caracterizam-se por terem ligações entre as condutas criando circuitos fechados, sendo passível a alimentação das condutas ser realizada pelos seus dois extremos, possibilitando assim a inversão do sentido do escoamento. A rede ramificada requer um menor comprimento de conduta, onde numa abordagem inicial, resultará uma economia no investimento inicial, ainda assim de pouca maleabilidade e com pontos mortos nos extremos das condutas (fim de linha), o que potenciará a degradação da qualidade a água nesses pontos. As redes mistas formam malhas nas condutas principais, no centro do aglomerado, e ramificações nas condutas secundárias. De todas as tipologias de redes de distribuição aquela que permitirá uma melhor qualidade da água durante mais tempo e melhor repartição das pressões, apesar de um investimento inicial maior, é a rede emalhadada (e.g., Marques e Sousa, 2008).

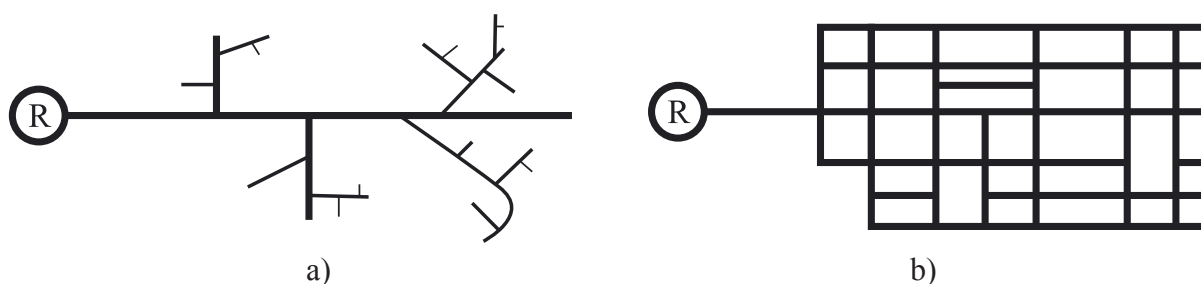


Figura 2.1: Exemplificação esquemática de uma rede ramificada (a) e emalhadada (b)

Os SAA têm na sua composição infraestruturas capazes de produzir e distribuir um bem de valor estratégico para o consumo humano, que é a água, para além do seu elevado valor comercial. Os seus componentes abarcam todo um ciclo de operações e infra-estruturas que permitem entregar às populações, desde a bacia onde se encontra a captação, ao tratamento, aos depósitos para o armazenamento e estruturas de transporte, uma água de elevada qualidade. Os locais onde se encontram as captações são ou deverão ser escolhidos após estudos técnicos que definam o local mais favorável, hidrologicamente e hidrogeologicamente, para as suas execuções. Se as águas extraídas das captações, subterrâneas ou superficiais, não obedecerem aos requisitos de qualidade para a utilização que lhes for definido deverão sofrer um tratamento adequado numa estação de tratamento de água (ETA). Em termos médios as captações, ou reservas estratégicas, deverão ser 40% maiores que o seu uso, devendo o seu escoamento anual acessível e renovável ser utilizado até um intervalo máximo de 17 a 20% (Marques e Sousa, 2008). Com a entrada da água bruta

na ETA produz-se a água potável que será transportada por sistemas de adução. Para que se possa otimizar o funcionamento de um SAA recorre-se à construção de reservatórios de água, que capacitam uma rede de autonomia a qualquer intervenção não programada, permitindo o armazenamento de água nos períodos de menor consumo para posterior utilização nos períodos de maior consumo. Finalmente a distribuição da água ao consumidor final é efetuada através de condutas distribuidoras, desde o reservatório até à habitação, sempre que possível por ação gravítica e quando o não for possível através de bombagem. Outras vezes poderão ser necessárias as construções de andares de pressão, com vista à diminuição de perdas de carga ao longo do trajeto (e.g., Alegre *et al.*, 2005; Marques e Sousa, 2008). A Figura 2.2, retirada do relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal (RASARP) 2017 apresenta o esquema das diferentes passagens da água, desde a captação até ao consumidor final. Em cada fase os caudais deverão ser medidos para que se conheçam os dados da exploração, pois a medição não é somente crucial para a equidade de serviços e usos disponibilizados, mas também para o garantir da sua universalidade, de justiça nos usos e demais implicações legais. Uma má medição poderá levar a que certos consumidores sejam beneficiados ou prejudicados aleatoriamente - Water Use Efficiency -; em suma e citando: “Não podes gerir o que não podes medir” (e.g., Koecha *et al.*, 2018). É de salientar ainda que na fase da distribuição poderão ocorrer, com o passar do tempo, perdas de água ainda que concetualmente a água entrada no sistema seja igual à água utilizada.

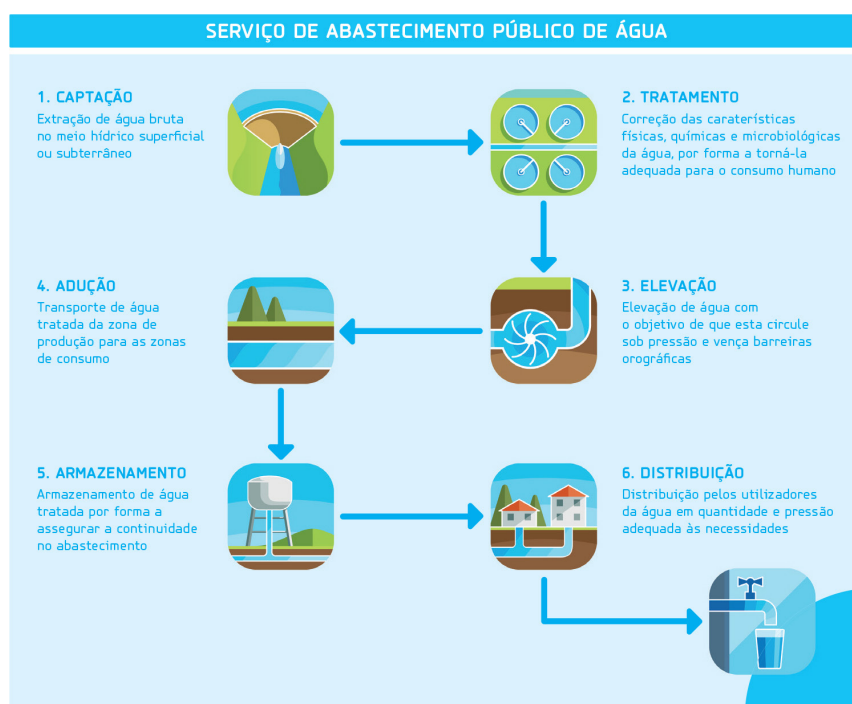


Figura 2.2: Esquema dos principais elementos de um SAA (ERSAR, 2017)

Conforme referido anteriormente, um sistema de distribuição de água é um conjunto de elementos ligados entre si que tem como objetivo conduzir a água desde os pontos de alimentação até aos seus consumidores, por forma a satisfazer as necessidades. Os elementos não são mais do que componentes físicos da rede, como por exemplo: uma válvula, um troço de conduta, sem qualquer ligação ao exterior ao longo do seu desenvolvimento e cujo comportamento hidráulico está perfeitamente definido. Quando se passa do sistema de distribuição para a modelação hidráulica verifica-se que devido ao elevado número de constituintes desse sistema torna-se quase impossível o estudo pormenorizado de todos os elementos, pelo que habitualmente se agrupam alguns destes, definindo-se assim os troços do sistema. Os troços dos sistemas caracterizam-se pelo fato de manterem as suas características constantes ao longo de todo o seu comprimento (*e.g.*, diâmetro, material).

2.3 Pensar a rede de distribuição de água de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto

Atualmente em Portugal os sistemas de abastecimento de água públicos ou prediais são regulados pelo “Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais”, que consta no Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto. Neste subcapítulo serão indicadas algumas normas, valores e indicações base mais relevantes para a concetualização de uma rede de distribuição de água que garanta o bom funcionamento global, preservando assim a segurança, a saúde pública e o conforto dos utilizadores. O presente trabalho de modelação da rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz tem como uma das suas bases de validação as normas regulamentares do presente decreto regulamentar.

2.3.1 Previsão do consumo de água

O consumo de água é afetado por múltiplos fatores, entre os quais o clima, o nível socioeconómico

da população, as tarifas da água, a densidade populacional e a dispersão demográfica. A água consumida por uma população deverá ser decomposta em parcelas, que, dependendo do seu fim, podem ser classificadas de: 1) consumos domésticos; 2) consumos comerciais e industriais; 3) consumos públicos; 4) combate a incêndios; 5) fugas e perdas de água, atualmente denominadas por perdas reais e aparentes, conforme transmitido por Alegre *et al.*, 2005. Numa cidade, *em média, cerca de 90% dos consumidores são domésticos, contudo eles representam 44% da totalidade da água fornecida na área urbana.* Os grandes consumidores de água, dentro do espaço urbano são, habitualmente, os hospitais, os hotéis, os restaurantes e algumas indústrias (por exemplo indústrias transformadoras, de conserva e lavandarias). O combate a incêndios poderia ter algum peso, contudo, e apesar de elevados caudais instantâneos, a baixa probabilidade de ocorrência de incêndios e a sua baixa duração assumem valores baixos de consumo, quando comparados com os demais usos. A componente de perdas de água, apesar de não se tratar de um consumo efetivo, pode representar uma parte bastante significativa de água fornecida, de acordo com o relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal (RASARP) 2017 verificando-se em Reguengos de Monsaraz 28% de perdas de água reais.

Os consumos domésticos dependem do número de habitantes e do respetivo consumo unitário diário (capitação). O seu cálculo é baseado no somatório dos agregados familiares, tendo em conta sempre a evolução populacional, quer permanente quer temporária. Na distribuição domiciliária, seja qual for o horizonte do projeto, as capitações não devem ser inferiores a:

- Até 1000 habitantes ----- 80 litros/ (habitante x dia);
- De 1000 a 10000 habitantes ----- 100 litros/ (habitante x dia);
- De 10000 a 20000 habitantes ----- 125 litros/ (habitante x dia);
- De 20000 até 50000 habitantes ----- 150 litros/ (habitante x dia);
- Acima de 50000 habitantes ----- 175 litros/ (habitante x dia);
- Urbanizações, condomínios, hotéis poderão ir até 400 litros/ (habitante x dia).

De acordo com Marques e Sousa, 2008, caso se pretenda avaliar as capitações permanentes para a exploração da rede de distribuição de água, e em populações entre 1000 a 100000 habitantes deverá considerar-se as seguintes capitações (com as seguintes equações):

- a) Início da exploração – $C_0 = 30 + 0,250 \sqrt{(P_0 - 1000)}$ litros / habitante·dia (Eq.1);
- b) Ao fim de 20 anos – $C_{20} = 45 + 0,375 \sqrt{(P_{20} - 1000)}$ litros / habitante·dia (Eq.2);
- c) Ao fim de 40 anos – $C_{40} = 60 + 0,500 \sqrt{(P_{40} - 1000)}$ litros / habitante·dia (Eq.3).

Para as capitações de populações temporárias, e caso faltem dados e/ou elementos que permitam calcular um valor adequado, devem considerar-se as seguintes capitações mínimas:

- a) Início da exploração – $C_0 = 80$ litros / habitante·dia;
- b) Ao fim de 20 anos – $C_{20} = 100$ litros / habitante·dia;
- c) Ao fim de 40 anos – $C_{20} = 120$ litros / habitante·dia;
- b) Para os consumos públicos podem ser incorporados nos valores médias de capitação global, valores entre 5 litros e 20 litros / (habitante x dia).

2.3.2 Perdas de água e os seus indicadores

Compreendem-se como perdas de água todos os volumes que se perdem ao longo do sistema, seja por roturas de condutas, deficiências nas juntas, extravasamento de reservatórios, deficientes contagens de água para faturação (por exemplo, ligações clandestinas e caudais não medidos, autorizados pela EG ou não). As perdas de água são divididas em duas componentes: 1) perdas reais ou físicas e 2) perdas aparentes. As perdas reais correspondem ao volume de água perdido na rede, pressurizada, e nas infraestruturas de uma EG, podendo ser visíveis ou não. As perdas aparentes correspondem ao volume de todas as imprecisões associadas à medição de água produzida e consumida e ainda o consumo não autorizado, por furto ou uso ilícito, podendo também ser designadas por perdas económicas ou comerciais. (Alegre *et al.*, 2005; Sardinha *et al.*, 2015). O Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto propõe para os caudais que se perdem na rede de distribuição, ramais de ligação e reservatórios de distribuição, e na falta de dados mais concretos, se possa atribuir ao somatório dos consumos, um valor mínimo de 10% do volume de água introduzida no sistema (*e.g.*, Paixão, 1999; Marques e Sousa, 2008). As perdas de água reais dependem de fatores locais determinantes para a sua origem como o estado das condutas e outros componentes, o seu material, a frequência de fugas e roturas, a pressão média de serviço, a densidade e o comprimento médio de ramais, a localização dos medidores

domiciliário no ramal, o comprimento total das condutas, o tipo de solo e as condições do terreno onde estão inseridas as redes de água e a percentagem de tempo em que o sistema está pressurizado. As perdas aparentes dependem de erros de medição dos contadores, por deficiente dimensionamento ou instalação, erros de leitura, erros de medição por avaria, leituras em falta por falta de acesso aos contadores (dentro das habitações), para além dos problemas associados ao uso fraudulento de hidrantes e ligações ilícitas (Alegre *et al.*, 2005).

Tendo em conta o balanço hídrico, a *Internacional Water Association* (IWA), através de grupos de trabalhos especializados, identificou um conjunto de indicadores de desempenho para as seguintes componentes do balanço hídrico: 1) água não faturada (ANF); 2) perdas de água; 3) perdas reais e 4) perdas aparentes. A abordagem, trabalhada pelo *IWA Water Task Force*, compreende a sua subdivisão em tipologias diferentes, nomeadamente indicadores financeiros, operacionais e de recursos hídricos, conforme esquematizado na Figura 2.3.

Componente	Tipo	Indicadores de performance base	Indicadores de performance detalhado
Água não faturada	Financeira	Volume de ANF como % do volume de água no sistema	Valor de ANF como % de custo do sistema
Perdas de água	Operacional	m ³ / ramal/ ano	—
Perdas aparentes	Operacional	—	m ³ / ramal/ ano
Perdas reais	Recurso Hídrico	Volume de perdas reais como % do volume de água no sistema	—
Perdas reais (em cada caso, o indicador é calculado por dia, quando o sistema pressurizado, para permitir o efeito de abasteciemento intermitente)	Sistema operacional	Litros/ ramal/ dia para sistemas com 20 ou mais ramais/ km conduta Uso de m ³ /km/dia para sistemas com menos de 20 ramais por km	Índice de fugas na infraestrutura será definido como o rácio entre perdas reais anuais e perdas reais anuais inevitáveis

Figura 2.3: Indicadores de desempenho relativos a perdas de água definidos pelo IWA Water Task Force (Sardinha *et al.*, 2015)

A determinação destes indicadores serve para a realização de comparações entre EG de diversas dimensões e de diversos países, sendo atualmente uma ferramenta importante no processo de tomada de decisão, visando a melhora continua ao incremento do conhecimento acerca das condições e do desempenho do sistema. Os indicadores económico-financeiros relativos à água não faturada podem ser expressos em termos de volume devendo ser utilizados pelas EG para identificar as maiores perdas financeiras do SAA, podendo ser calculadas através da equação:

$$PF \text{ de ANF} = (\text{Volume do CANF} + \text{Volume de PAp}) \times PV + (\text{Volume PR} \times \text{CMProd})$$

(Eq. 4)

onde PF de ANF são as perdas financeiras devido à água não faturada; CANF é o consumo autorizado não faturado; PAp são as perdas aparentes; PV é o preço de venda da água; PR são as perdas reais; CMProd é o custo médio de produção. O indicador de perdas reais é aquele indicador de performance imediato para as perdas de água nos SAA. O indicador mais utilizado para as perdas de água física é o das perdas reais inevitáveis, designado por *Unavoidable Annual Real Losses* (UARL) (Lambert, 2009; Sardinha *et al.*, 2015), sendo calculado através da equação:

$$\text{UARL} (18 \times \frac{Lm}{Nc} + 0.8 + 25 \times Lp) \times \frac{Pmed}{24} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde Lm é o comprimento da rede (km); Nc é o número de ramais; Lp o comprimento médio dos ramais (km) e $Pmed$ é a pressão média de operação na zona de estudo (m), sendo o UARL estimado em l/ramal/hora. Para os indicadores das perdas aparentes, não havendo uma metodologia exata para o calcular, recomendam uma metodologia que consiste na aplicação dos resultados dos ensaios metrológicos realizados aos contadores retirados das redes de distribuição sobre o volume total de água medido e faturada, devendo as amostras serem representativas da realidade de cada EG (Sardinha *et al.*, 2015).

2.3.3 Combate a incêndios e fatores de ponta

Os riscos de incêndio dependem da probabilidade da sua ocorrência e da facilidade de propagação. Como tal, as zonas a proteger devem ser classificadas pelos seguintes graus de risco:

- a) Grau de Risco 1 – zona urbana de baixa densidade - $15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$;
- b) Grau de Risco 2 – zona urbana de áreas residenciais com construções isoladas – $22,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$;
- c) Grau de Risco 3 – zona urbana constituída essencialmente por edificações com um máximo de 10 pisos – $30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$;

- d) Grau de Risco 4 – zona urbana com construções com mais de 10 pisos – $45 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$;
- e) Grau de Risco 5 – zona urbana com construções antigas, de difícil acesso, e por edifícios de ocupação preferencialmente comercial – caudal a definir caso a caso.

Os fatores de ponta instantâneos utilizados nos sistemas de distribuição de água irão conduzir a um caudal máximo instantâneo, devendo ser definidos com base nos registos dos consumos instantâneos. No cálculo dos fatores de ponta podem considerar-se três tipos:

- Fator de ponta mensal - quociente entre o consumo do mês de maior consumo do ano e o consumo mensal médio anual;
- Fator de ponta diário - quociente entre o consumo do dia de maior consumo do ano e o consumo diário médio anual;
- Fator de ponta instantâneo - quociente entre o caudal máximo instantâneo do ano e o caudal médio anual.

No artigo 19º o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, e na eventualidade da não obtenção de valores mais concretos que permitam definir os fatores de ponta instantâneos, indica que a fórmula a adotar é (*e.g.*, Paixão, 1999; Marques e Sousa, 2008):

$$F_p = 2 + 70/\sqrt{(\text{Pop})} \text{ (Eq.6)}$$

onde Pop é a população a abastecer.

2.3.4 Pressões, velocidade, diâmetro nominal das condutas e os reservatórios

A rede de distribuição de água deverá ter em conta uma gama de pressões adequada aos vários usos dos seus diferentes consumidores, sendo a pressão mínima aquela que consiga assegurar nos ramais de ligação dos consumidores, em hora de ponta, a pressão exigida pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto expressa na Eq. 7:

$$H=100+40n \text{ (KPa) (Eq. 7)}$$

onde n é o n.º de pisos da habitação. Em aglomerados onde existam edifícios de grande altura esta premissa não poderá ser garantida para qualquer número de pisos, sendo necessária a utilização de grupos hidropressores para garantir água a partir de determinado nível de pisos. A norma portuguesa, NP-838, refere que acima de oito pisos dever-se-á prever um sistema de hidropressoras privativo (NP-838, 1971). A ocorrência de pressões elevadas trazem enormes problemas como a deterioração das tubagens e acessórios, o ruído nas redes interiores dos edifícios e a deterioração das válvulas ou outros equipamentos, contribuindo para o aparecimento de fugas. Segundo o regulamento português, as pressões máximas, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização não deverá ser superior a 600 KPa. As variações de pressão na rede não deverão exceder ao longo do dia 300 KPa, sendo que no sistema predial a pressão não deverá ser inferior a 100KPa ao nível dos dispositivos hidráulicos.

Valores excessivos de velocidade numa rede podem originar fenómenos como o choque hidráulico que provocará roturas nas condutas de água, ou até mesmo corrosão das tubagens por erosão e ruído nas canalizações. O Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, artigo 21º, atenta para a velocidade de escoamento: o caudal de ponta no horizonte do projeto não deve exceder o valor calculado pela Eq. 8:

$$V=0.127 \cdot D^{0.4} \text{ (Eq. 8)}$$

onde V é a velocidade expressa em m/s e D o diâmetro em mm. A velocidade de escoamento para o caudal de ponta no ano de início de exploração do sistema não deverá ser inferior a 0.30 m/s. Relativamente aos diâmetros mínimos, e de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, estes não podem ser inferiores a 60 mm em aglomerados com populações inferiores a 20000 habitantes e não podem ser inferiores a 80 mm se em aglomerados se com populações acima dos 20000 habitantes. Relativamente à rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz, esta tem uma diversidade de origens materiais das tubagens: 39% de fibrocimento e 61% em PVC. Relativamente aos diâmetros os mesmos vão dos 60 aos 150 mm no caso das condutas de fibrocimento e dos 63 aos 200 mm no caso do PVC, cumprindo o regulamento vigente. No que diz respeito aos reservatórios, os mesmos integram as infraestruturas de um

SAA, podendo desempenhar funções de: 1) regularização do transporte de água equilibrando as variações de consumo; 2) equilíbrio das pressões na rede de distribuição; 3) reservas de emergência. A Norma Portuguesa NP-839 de 1971 indica que o valor mínimo para reservas de incêndio são de 25 m³ para aglomerados com menos de 1000 habitantes e de 25m³ a 50m³ para aglomerados formados por 1000 a 100000 habitantes, contudo tais valores são considerados baixos de acordo com os consumos dos marcos de incêndio. Relativamente à implantação, os reservatórios podem ser: enterrados, semi-enterrados, elevados e apoiados.

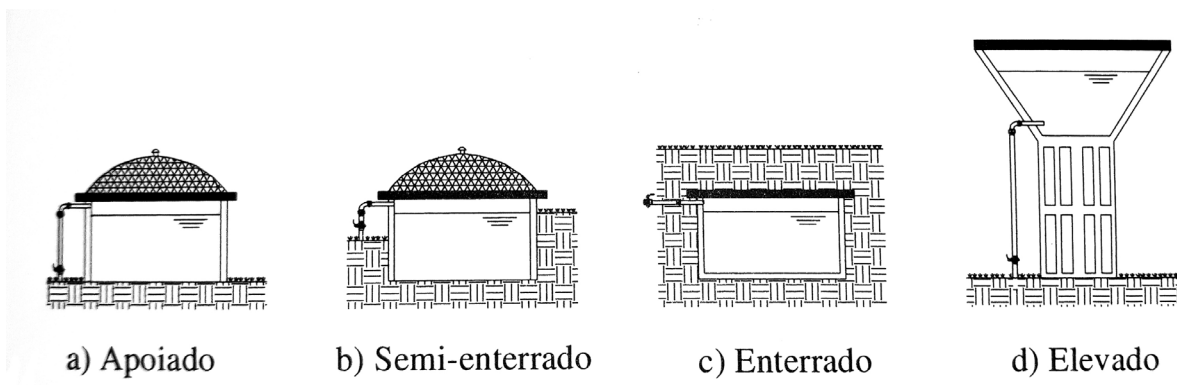


Figura 2.4: Tipos de reservatórios (Marques e Sousa, 2008)

2.4 Tubos, acessórios e órgãos de manobra

A escolha da natureza das condutas resulta da análise de vários fatores, como a durabilidade, resistência às pressões, resistência à corrosão, rugosidade do tubo, facilidade do manuseamento e montagem. As condutas de distribuição de água nas redes atuais, são divididas pelos seguintes materiais:

- Fibrocimento – os tubos de fibrocimento são obtidos pelo enrolamento e compressão de camadas muito finas de uma pasta constituída por uma mistura homogénea de cimento Portland e de fibras de amianto de alta resistência à tração, com a adição de água. Nos anos 70 e 80 do século passado foram extremamente utilizadas devido ao seu preço competitivo e porque a maioria dos sistemas não ultrapassava pressões de 150 mca, pelo menos até diâmetros de 500 mm. As redes mais antigas espalhadas pelo

país ainda têm grandes quantidades de fibrocimento. Os tubos têm comprimentos de 5 metros e têm diâmetros nominais de 50 a 800 mm;

- Policloreto de Vinilo não plastificado (PVC) – A produção deste tipo de tubo iniciou-se, em Portugal, nos anos 70 do século passado e perdura ainda hoje, sendo bastante utilizados. Isto deve-se ao seu preço competitivo e à facilidade de manuseamento e de montagem. O tubo PVC é construído a partir de um material termoplástico e apresenta-se sob a forma de vara com 6 metros de comprimento e diâmetros nominais entre 63 mm e os 800 mm para pressões nominais de 60, 100 e 160 mca. Tem como principal vantagem a grande resistência à corrosão, interna como externa, bom isolamento térmico e baixa rugosidade. Como desvantagem são-lhe apontados a falta de informação relativa ao seu envelhecimento, e à inclusão de cloro na sua constituição.

Relativamente aos acessórios, os mesmos permitem ultrapassar vários tipos de problemas, entre eles, as mudanças de direcção, de material, de diâmetro. Os acessórios podem ser de rede ou de tubo. Os acessórios de redes permitem o bom funcionamento da rede, isto é, permitem o fecho de água aquando de avarias, a redução de pressão, descargas de fundo, libertação de ar e ainda de utilização pública para incêndio e rega. Os acessórios de tubo permitem a ligação entre tubos, como por exemplo as curvas, as cruzetas, as reduções, os tês simples ou de redução e as junta cega (*e.g.*, Grilo, 2007; Marques e Sousa, 2008).

Os órgãos de manobra possibilitam ter uma rede, em fase de exploração, a funcionar corretamente de modo a facilitar a sua gestão. Quando se referem órgãos de manobra podem apontar-se os seguintes:

- Válvulas de seccionamento – possibilitam a divisão de troços de conduta, isolando-os quando necessário, de modo a evitar estrangimentos no abastecimento de água quando, por exemplo, ocorrem roturas nas condutas de água. As válvulas devem ser instaladas no início e fim de troços, nos pontos altos e ao longo de troços de condutas muito longos;
- Descargas de fundo – permitem o esvaziamento completo de condutas de água, ou troços entre válvulas de seccionamento. As descargas de fundo deverão estar localizadas em

todos os pontos baixos dos troços de condutas e a jusante ou montante das válvulas de seccionamento quando as mesmas estão instaladas em troços ascendentes ou descendentes, respetivamente;

- Ventosas – estes dispositivos permitem libertar o ar existente nas condutas. A presença de ar é altamente prejudicial à estrutura da conduta devido aos fenómenos de cavitação. As ventosas deverão estar instaladas em todos os pontos altos dos troços, na seção a jusante de troços longos descendentes, a montante da redução de diâmetros, no início e no fim de troços horizontais.
- Válvulas redutoras de pressão (VRP) – as válvulas redutoras de pressão asseguram que a pressão a jusante da mesma não exceda um valor previamente estabelecido;

As válvulas são componentes importantes dos sistemas de distribuição de água enquanto reguladores de caudal e de pressão, nomeadamente para a garantia da manutenção estrutural das condutas de água. Cada vez mais as EG têm a preocupação na gestão da pressão e caudal existentes nas suas redes de distribuição de água, pois permitem assegurar níveis de serviço suficientes e racionais aos clientes, quer para padrões de consumo normais quer flutuantes. (*e.g.*, DIN EN 736, 1995; DIN EN 1074, 2000; Ates, 2001; Ates, 2006; Marques e Sousa, 2008; Ates, 2009; Wang *et al.*, 2014; Ates, 2017).

2.5 Medidores de água

A alteração de hábitos alimentares e dos usos quotidianos vieram incrementar uma sobrecarga ao visível aumento de consumo de água, a nível urbano, que vem sendo exacerbado pelos efeitos adversos das alterações climáticas e da necessidade de permitir ter mais água para efeitos ambientais. A fim de enfrentar a necessidade de melhor gerir a rede de abastecimento e assim torná-la mais eficiente as EG e o setor da água, em particular, têm sofrido grandes mudanças no seu paradigma de gestão (*e.g.*, Mckay, 2005; Aravinthan *et al.*, 2012; Mudumbe *et al.*, 2015; Koech *et al.*, 2018). Neste sentido, os medidores de água, contadores, sobre pressão tornaram-se os principais aliados na gestão de SAA, pois somente se pode gerir o que é conhecido, neste caso, o que é medido. Relativamente aos medidores de água podem classificar-se como: mecânicos, magnéticos e

ultra-sónicos. Destes, os mais utilizados vêm sendo os mecânicos devido ao seu preço altamente competitivo nos baixos calibres. Em Portugal, nas áreas urbanas os calibres mais utilizados são os de 15 mm, 20mm e 25mm (*e.g.*, Stewart *et al.*, 2010; Aravinthan *et al.*, 2012; Koech *et al.*, 2018). Nos últimos dez anos o mercado tem evoluído nos medidores inteligentes de água, que nada mais são do que a medição de consumos de água padrão ou convencional e desempenham fundamentalmente a mesma função que um medidor de água convencional, contudo o medidor está ligado a um dispositivo que lhe permite para além da leitura, armazenar a informação, exibi-la e transferir os dados de consumo em tempo real, se assim se desejar. A esta nova tecnologia dá-se a nomenclatura de Smart Water Metering (SWM). Esta tecnologia permite que as EG executem leituras remotamente e sendo as mesmas transmitidas em simultâneo, eliminando as estimativas e erros das mesmas, ganhando assim uma enorme eficiência na faturação de água mas também na deteção de roturas e uma melhor gestão de consumos aos clientes, podendo também desta forma potenciar a mudança de padrões de comportamentos do uso da água (*e.g.*, Pericilli *et al.*, 2010; Aravinthan *et al.*, 2012; Laspidou *et al.*, 2015; Walker *et al.*, 2015; Koech *et al.*, 2018). As redes de distribuição de água inteligentes, em geral, podem ser segmentadas em categorias: 1) física; 2) deteção e controlo remoto, incluindo dispositivos de medição (pressão, escoamento, condutividade, qualidade e temperatura); 3) criação de dados; 4) gestão de dados e 5) análise dos dados. (*e.g.*, Gunther *et al.*, 2015). Estas redes, seguindo a lógica das SWM, permitem controlar e monitorizar a água em tempo real, consoante necessidades, garantindo a sua qualidade, assim como a gestão da infraestrutura no que ao combate às perdas de água e transmissão de dados diz respeito.

2.6 Controlo ativo de perdas de água e zonas de medição e controlo (ZMC)

Internacionalmente existem várias abordagens metodológicas para o controlo de perdas de água, tendo sempre como principal premissa a dimensão económica do problema, sendo todas as outras componentes consideradas como complementares. Para o início deste tipo de abordagem, a EG deve ter como ponto de partida para a sua implementação a modularização do SAA, sendo a setorização da rede, através de Zonas de Medição e Controlo (ZMC), um passo básico para a concretização do controlo ativo de perdas. Os princípios básicos para o

desenvolvimento de uma estratégia, sempre tendo em conta a realidade específica de cada EG, de controlo de perdas reais de água são:

- Definição de objetivos estratégicos;
- Identificação e caracterização preliminar do SAA e da área em que se insere;
- Determinação do custo da água;
- Determinação do nível atual de perdas;
- Determinação dos métodos de controlo ativo de perdas e dos seus custos e alternativas;
- Cálculo do nível económico de perdas;
- Análise de proceder a campanhas de redução de pressões como primeiro passo;
- Análise de alternativas possíveis e identificação das opções (em relação ao controlo ativo de perdas);
- Implementação dos métodos escolhidos;
- Avaliação do desempenho para a nova situação (Alegre *et al.*, 2005).

O controlo ativo de perdas deve consistir numa abordagem ativa de inspeção regular ao traçado da rede, de forma a identificar roturas visíveis, pela monitorização constante do comportamento do SAA, baseando-se na setorização da rede em diversas zonas de abastecimento e na monitorização dos respetivos caudais noturnos, para que se procedam a identificações e resoluções numa fase inicial dos problemas (perdas reais de água). Um benefício muito importante decorrente de uma abordagem pró-ativa de redução de perdas de água é a redução do tempo médio de localização de fugas, permitindo uma rápida extinção do problema, mostrando níveis de eficiência da EG muito positivos, no que respeita a perdas de água, com elevado controlo financeiro e elevada responsabilidade ambiental. Relativamente às perdas aparentes, a intervenção deve ter em conta a modernização do parque de contadores, tendo em conta a realidade física e económica de cada EG, utilizando contadores de classe superior, de um plano rigoroso de substituição preventiva de contadores, do controlo dos locais de abastecimento com consumo igual a zero ou sem clientes associados, permitindo com este tipo de abordagem uma rápida recuperação dos investimentos realizados (Sardinha *et al.*, 2015). Referir ainda que a medição zonada deverá ser auxiliada por algumas metodologias de apoio para a optimização da eficiência operacional e para o conhecimento do comportamento dos consumos, são elas:

1. Método dos caudais totais – cálculo baseado no balanço hídrico e na observação dos consumos e que contabiliza o volume aduzido de cada zona utilizando os volumes de água medidos, durante um intervalo de tempo, geralmente uma semana, e subtraindo dos volumes de água saídos e conhecidos, incluindo uma estimativa de consumo. Como resultado obtém-se o volume de perdas nesse período, que terá de ser decomposto nas componentes de perdas aparentes e reais;
2. Método dos caudais noturnos – cálculo baseado no balanço hídrico e na observação do comportamento do caudal durante as horas de menor consumo, que ocorrem tipicamente de noite e no caso de Reguengos de Monsaraz entre as 00:00 e as 5:00, durante as quais é tido como credível que os caudais totais escoados representam as perdas reais. Permite também, e em simultâneo, acompanhar o comportamento dos caudais noturnos e detetar qualquer aumento de caudal súbito que represente uma nova fuga, com maior clareza.

A previsão de consumos de água é um desafio à natureza da qualidade dos dados disponíveis, devido à multiplicidade de tipo de consumidores, da variação de consumos com as estações, a heterogeneidade dos consumidores, pelo que deve ser estudado com cautela e o mais criteriosamente possível (Alegre *et al.*, 2005; Polebitski e Palmer, 2010; Mamede *et al.*, 2014).

O desenvolvimento dos sistemas de distribuição de água acompanhou sempre a lenta expansão dos aglomerados urbanos, conferindo-lhes sempre uma grande complexidade e uma estruturação débil, tornando-os difíceis de gerir. A modularização dos sistemas existentes pode atualmente ser facilmente realizada com obras que permitam separar os componentes de distribuição e adução de água, criar andares de pressão independentes, quando as diferenças topográficas o justifiquem, setorizar a rede em zonas de reduzida dimensão, de modo a poder medir os caudais fornecidos a cada uma e, eventualmente ajustar as pressões de serviço ao longo do dia e de acordo com as necessidades. Numa rede de abastecimento de água os dados mais importantes são os caudais, as pressões, os níveis dos reservatórios e certos parâmetros de qualidade da água. A medição zonada é uma técnica de controlo de caudais e de apoio ao controlo de perdas, que envolve a divisão criteriosa da rede de distribuição de água num conjunto de zonas discretas, de contornos fixos e rigorosamente identificados. Em todas essas zonas discretas são monitorizadas

todas as entradas e saídas de água, em campanhas temporárias, periódicas ou permanentes de medição de caudais, de forma a obter-se a informação detalhada sobre o balanço de caudais e o comportamento dos consumos.

A criação de ZMC, exemplificada na Figura 2.5, é das metodologias com maior sucesso, sendo utilizada pelas EG para identificar e reduzir as perdas de água e para a implementação de uma gestão de pressões na rede, sendo a sua implementação, por exemplo, no Reino Unido sinónimo de reduções em 30% das perdas reais globais nos últimos 25 anos (Ofwat, 2007; Wright *et al.*, 2014; Wright *et al.*, 2015). A ZMC comporta-se como um polígono virtual, com implementação na rede, com dependência da sua forma e dimensão de acordo com as características do traçado da rede e da sua topografia, devendo ter os seguintes princípios básicos:

- a) Fase da conceção – Planeamento preliminar do sistema de medição zonada / Simulação hidráulica e conceção da ZMC;
- b) Fase de instalação – Levantamento das condições locais / seleção dos pontos de medição / seleção e aquisição de medidores e registadores / realização das obras para instalação / verificação do sistema.

Na fase de planeamento e conceção da ZMC, a possibilidade de utilização e manipulação de um simulador hidráulico é de extrema utilidade, permitindo assim aferir a viabilidade, do ponto de vista hidráulico, da instalação daquela ZMC (Alegre *et al.*, 2015).

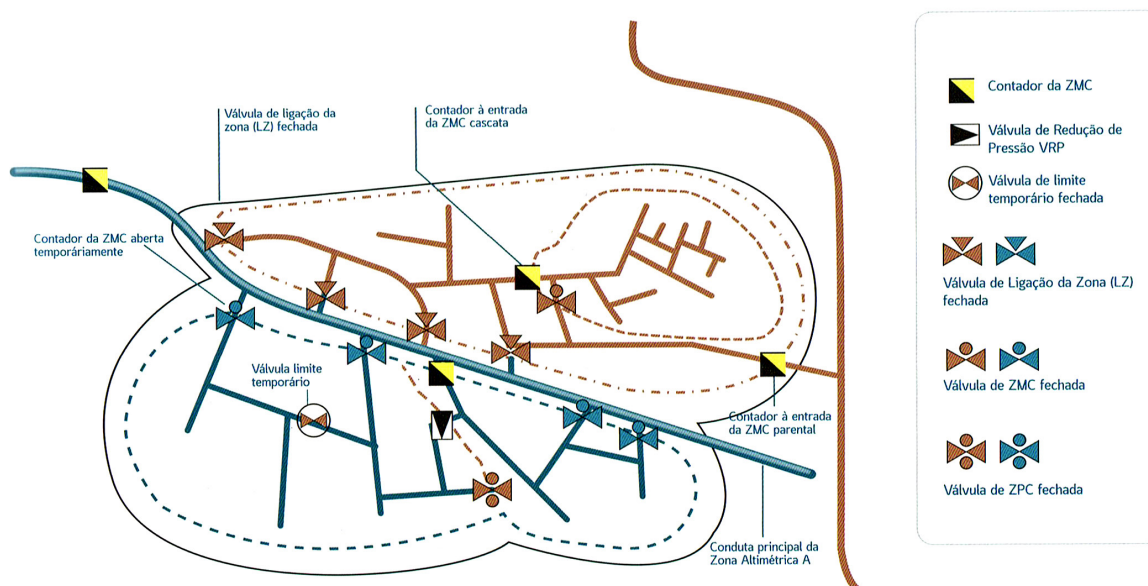


Figura 2.5: Imagem demonstrativa de uma ZMC (Sardinha *et al.*, 2015)

Em termos de dimensão de um setor, em redes urbanas não deverão ser superiores a 3000 ramais por zona, para aglomerados rurais de fraca densidade populacional, como por exemplo Reguengos de Monsaraz, a dimensão mínima aconselhada para rentabilizar uma ZMC deverão ser cerca de 500 ramais. Para além deste fator deve ter-se em conta que a rede de cada setor deverá ser até um máximo de 10 km por zona e o caudal médio consumido, como referência, entre os 1000 e 1200 m³/dia. (Alegre *et al.*, 2005; Sardinha *et al.*, 2015).

Nos formatos mais simplificados as ZMC são setorizadas através do fecho permanente de válvulas fronteira ou de limite (BV), interrompendo o fluxo entre troços, tendo habitualmente somente uma única entrada. Este sistema tem como pontos positivos durante o período de menores caudais, à noite, o cálculo das perdas reais de cada setor através da monitorização do caudal aduzido para além da deteção de novas fugas. Também permite através da gestão das pressões e com a colocação à entrada de uma válvula redutora de pressão (VRP), e utilizando a metodologia da redução média das pressões, reduzir o volume de água potencialmente perdida, sendo que esta operação deverá ser efetuada com o maior grau de precisão para se manterem as pressões de serviço satisfatórias. Como fator negativo temos a limitação de redundância do sistema, resultado de um número reduzido de rotas de abastecimento para os consumidores. Em caso de falha no abastecimento, para a manutenção da pressão e do abastecimento, as BV

são abertas manualmente devendo esta ação requerer cuidado afim de não aumentar o número de roturas através, por exemplo, de golpes de ariete com aumentos abruptos da pressão. Outro problema é o tempo despendido a reorganizar a ZMC afetada, de modo a realizar o corte ao abastecimento somente na área afetada, para além da degradação da qualidade da água através do aumento de troços de fim de linha com baixas velocidades de escoamento e o aumento do decaimento de cloro inerente (Fantozzi *et al.*, 2009; Drinking Water Inspectorate, 2009; Wright *et al.*, 2015). Para a resolução destes pontos negativos estão a ser desenvolvidas e utilizadas novas metodologias, nomeadamente a ZMC dinâmicas, ação inovadora na gestão operacional de redes de distribuição de água onde as ZMC são dinamicamente agregadas para aumentar a resiliência da rede, a gestão das pressões e a qualidade da água podendo utilizar-se, por exemplo, campanhas de descarga programada de água, realização de caudais noturnos (Wright *et al.*, 2014). Para esta ação basta trocar as BV por válvulas de limite dinâmico (DBV) que incorporam um sistema, de controlo remoto, com um novo sistema piloto de bypass duplo de fluxo de água e controlo bidireccional, podendo assim eliminar as desvantagens das ZMC convencionais (Cla-Val, 2015a, Cla-Val, 2015b; Cla-Val, 2015c; Armand *et al.*, 2015, Wright *et al.*, 2015).

2.7 Qualidade da Água

Os SAA a uma população devem ter como grande prioridade das EG o garante da preservação da saúde pública e o garante da estabilidade social no acesso á água (Souza e Costa Silva, 2013). Desta forma e numa perspetiva da análise da qualidade da água na rede de distribuição de água, verifica-se que o aumento do tempo de retenção, ou incidência da água nas condutas, causa graves problemas à qualidade da mesma, como a multiplicação de organismos microbianos, o decaimento do cloro residual, maus odores e mau gosto. A ausência ou a fraca concentração de cloro residual expõe a água a perigos de multiplicação de bactérias patogénicas e o inverso a criação de subprodutos de cloro (trihalometanos e ácidos haloacéticos por exemplo), alguns carcinogénicos. Os principais fatores físicos são a velocidade de escoamento, consumos diários e sazonais, armazenamento da água e o abastecimento intermitente (Chambers *et al.*, 2004; Edwards e Maher, 2008; Grayman e Clark, 2013; Nono *et al.*, 2018). O decaimento de cloro está associado a redes sobredimensionadas, água inadequadamente tratada. Estes fatores incluem

também a existência de matéria orgânica natural, compostos inorgânicos (ferro, brometo e manganês por exemplo), produtos de corrosão, temperatura elevada, pH, crescimento de biofilmes, para além das naturezas das condutas e tempo de incidência da água. O conhecimento do tempo de incidência da água e do resíduo de cloro dentro de uma rede facilitaria, por exemplo, proceder às modificações da rede ou de operação da rede de modo a melhorar a qualidade da água. Estudos produzidos demonstram que em geral a taxa de decaimento do cloro residual aumenta com a velocidade do escoamento nas condutas, maior em condutas metálicas sem revestimento, e desprezível em PVC. A causa apontada para além da velocidade de escoamento, é a elevada taxa de transferência de massa de materiais corrosivos e a separação de biofilmes das paredes das condutas com a subsequente mistura na água (Chambers *et al.*, 2004; Pavlov *et al.*, 2004; Digiano e Zhang, 2005; Grayman e Clark, 2013; Machell e Boxall, 2014; Nono *et al.*, 2018). Apesar do presente trabalho não incidir na vertente da qualidade da água, o simulador hidráulico EPANET 2.0 também permite realizar modelos com este propósito. Por este motivo, juntamente com a verificação dos problemas atuais de decaimento de cloro na água da rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, considerou-se importante uma breve abordagem a esta temática, podendo ser este o próximo passo em futuros trabalhos.

2.8 Modelação matemática de redes de abastecimento públicas

Nos últimos 20 anos as preocupações mundiais foram-se alterando e, do mero fornecimento de água às populações, passou-se a um outro nível de gestão da água e a outro tipo de preocupações na sua distribuição até ao consumidor. As ineficiências dos SAA produzem uma perda de energia e de água. Estas perdas têm um custo económico que as entidades gestoras têm capacidade de reduzir. A optimização de rede e a deteção ativa de perdas de água nas redes de distribuição constituem duas ações que podem ser realizadas na redução de perdas de água e energia. Muitas destas técnicas exigem um modelo bem calibrado para a produção de resultados confiáveis. A calibração do modelo consiste, de modo mais sucinto, em ajustar os parâmetros da rede de modo a reduzir o erro nas medições previstas, sendo os principais parâmetros a pressão e o caudal (*e.g.*, Sanz G. *et al.*, 2015). O comportamento de um sistema não é de perceção direta, pelo que os seus utilizadores ou a entidade gestora por vezes somente se apercebem que algo de errado se

passa através de sintomas externos como a falta de pressão, a falta de água, o aparecimento de água à superfície ou pela turvação da água distribuída. Como as redes de distribuição estão no subsolo, a sua inspeção direta torna-se impossível devido aos seus elevados custos comerciais, levando a que se proceda à utilização de instrumentos de apoio baseados na modelação hidráulica. Contudo, existem outros métodos indiretos, como por exemplo o controlo ativo de fugas, que permitem alcançar bons resultados a custos aceitáveis. Os modelos de simulação hidráulica são ferramentas que permitem estudar e projetar: 1) o comportamento hidráulico e 2) o comportamento de parâmetros de qualidade da água do sistema; com uma margem de erro estimável, a partir das características dos seus componentes, da forma de operação e dos consumos solicitados de uma forma bastante rápida e com eficazes análises de sensibilidade para variados cenários (e.g., Coelho *et al.*, 2006; Annus e Vassiljev, 2015; Gama *et al.*, 2015).

2.8.1 Início da modelação hidráulica de redes de abastecimento

Os resultados dos modelos permitem a reprodução, com um elevado nível de precisão que se pode estimar, do comportamento real do sistema expressando as variáveis de estado, objetivando a análise de situações tipo existentes ou a projetar. Um modelo pode ser resolvido manualmente, já assim o era no passado, contudo a sua morosidade, complexidade dos cálculos e especificidade técnica tornou-os economicamente inviáveis (e.g., Coelho *et al.*, 2006). O primeiro modelo de uma rede de abastecimento informatizado foi desenvolvido por Hardy Cross nos anos trinta do século passado e foi utilizado para analisar redes emalhadas de condutas. As primeiras estruturas de redes de condutas de água apareceram nos anos sessenta, do século passado, aplicadas por Adams e baseadas no seu método, sendo posteriormente ultrapassado por modelos mais robustos, que desenvolviam equações lineares do caudal nas condutas, usando o método Newton-Raphson. Nos anos setenta produz-se um enorme avanço técnico na solução de redes e são descobertos novos algoritmos e são desenvolvidos modelos para as bombas e válvulas. Efetuaram-se ampliações temporais desde um único momento (de tempo) à análise da variação do tempo. Os anos oitenta e noventa são marcados pela migração de códigos de sistemas operativos bastante desenvolvidos e pelos primeiros computadores pessoais, para além, dos primeiros modelos para avaliar a qualidade da água nas redes de abastecimento. A integração de uma base de dados com o desenho

assistido por computador (CAD, Computer Aided Design) faz-se em 1998 (e.g., Mays, 2000). Com a implementação de modelos informáticos, este tipo de modelos passaram a constituir uma ferramenta viável e útil para a simulação efetiva dos sistemas em bandas alargadas de condições operacionais. Contudo, é importante enfatizar que os modelos somente funcionam se colocados os dados descritivos referentes ao sistema a ser estudado e modelado. Os programas de simulação permitem, de forma interativa, a descrição física completa da infraestrutura, condutas, válvulas, reservatórios e outros componentes, da sua topologia e cota. Apresentam interfaces gráficas com o *software* de SIG georreferenciado que permite o armazenamento de toda a informação descritiva existente de cada componente do sistema. Desta forma um ficheiro SIG pode conter informação substancial da informação necessária para modelar, que facilmente se exporta para *software* de simulação. O simulador permite que o utilizador construa de forma detalhada os modos de operação, os consumos, as condições impostas por níveis de reservatório limítrofes ou ligações a outros sistemas calculando assim o equilíbrio hidráulico do sistema, exprimindo de forma numérica e gráfica, como:

- » A pressão, cota piezométrica nos pontos de consumo, incluindo níveis de água nos reservatórios;
- » Velocidade de escoamento, a perda de carga e ao caudal nas condutas, válvulas e bombas;
- » O estado de abertura e fecho ou a regulação de válvulas e bombas.

A simulação pode ser efetuada num determinado momento no tempo – simulação estática – ou para um dado período de tempo alargado como se tratasse de um filme constituído por sequências fotográficas, separadas no tempo por um espaço temporal pré-determinado – simulação em período alargado. Este último também se pode caracterizar por uma sucessão de simulações estáticas com as condições de fronteira a serem representadas pelos níveis dos reservatórios e volumes de armazenamento ajustadas na transição entre cada dois momentos sucessivos (e.g., Coelho *et al.*, 2006; Sayyed *et al.*, 2014; Roma *et al.*, 2015; Kallesoe *et al.*, 2017).

2.8.2 Modelação matemática

Na formulação matemática dos modelos são estabelecidas as condições de equilíbrio hidráulico a partir de duas leis fundamentais da mecânica dos fluidos: 1) a lei de conservação da massa e 2) a lei da conservação da energia; e de uma lei da resistência ao escoamento. O modelo de simulação hidráulica de um sistema é composto por: a) um conjunto de dados que descreve as características do sistema, os seus consumos e suas condições operacionais; b) um conjunto de equações matemáticas, na sua grande maioria não-lineares, capazes de representar o comportamento hidráulico dos componentes, individualmente, e do sistema no seu todo, por exemplo o caudal nas condutas ou a pressão nos nós, evidenciada pelos dados descritivos; c) o algoritmo numérico necessário para a resolução desse conjunto de equações (e.g., Marques e Sousa, 2008; Roma *et al.*, 2015).

O entendimento por parte de quem pensa, cria e gera um SAA, em termos físicos, químicos e biológicos, é cada vez mais complementada com uma modelação computacional fiável, proporcionando uma adequada avaliação do funcionamento do SAA. Assim, situações estáticas podem ser aplicadas para simular hidraulicamente sistemas sob pressão, como por exemplo o equilíbrio hidráulico, em que o sistema físico é substituído por um sistema matemático. A simulação de um sistema, regra geral, significa fazer a caracterização do sistema ao longo de um determinado período de tempo. O SAA é fisicamente constituído por reservatórios, condutas e acessórios, tendo por objetivo transportar água desde a captação até ao local de consumo. Sendo os consumos variáveis no tempo, os caudais que circulam nas condutas também apresentam variações de acordo com estes, tendo como consequência flutuações de pressões ao longo da rede.

Tradicionalmente o estudo de um SAA é feito em condições de regime permanente uniforme, o que equivale a tirar uma fotografia ao funcionamento do sistema de distribuição de água em situação de máxima carga. Contudo, atualmente já é comum o cálculo de sistemas de distribuição não só para as condições mais desfavoráveis, mas também reproduzindo, ou tentando, o que se passa na realidade ao longo do tempo, podendo assim o sistema ser caracterizado de uma forma dinâmica, conforme detalhado no esquema da Figura 2.6. Os sistemas dinâmicos podem ser classificados em dois grandes grupos: 1) modelos inerciais; 2) modelos não inerciais.

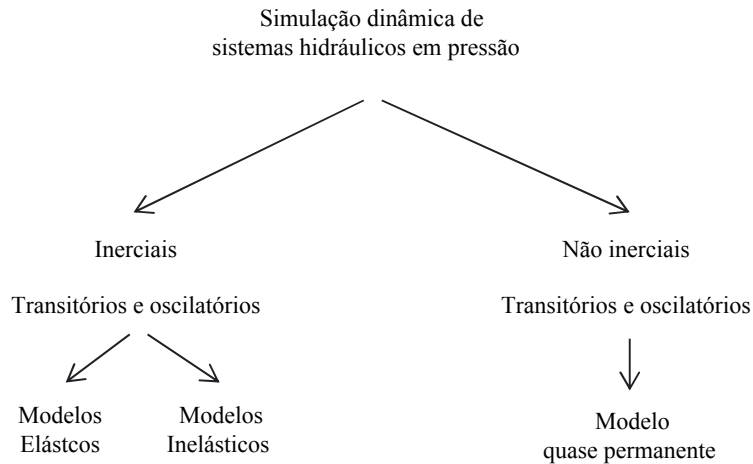


Figura 2.6: Esquema dos modelos de simulação dinâmica sob pressão

Os modelos inerciais, têm em conta a inércia do movimento do fluido através dos elementos do sistema, podendo, ou não, ter em consideração os efeitos elásticos quer do fluido quer das componentes do sistema, criando modelos dinâmicos inerciais elásticos e rígidos. A perda de carga por atrito que se verifica num escoamento em regime permanente, numa conduta circular, é representada pela fórmula de Darcy-Weisbach, podendo ser designada por coeficiente ou fator de atrito. As equações do modelo inercial elástico englobam as equações do modelo inercial rígido e as equações do modelo permanente. Para os modelos dinâmicos, por exemplo dois reservatórios ligados por uma conduta uniforme de diâmetro constante são utilizados três métodos numéricos de resolução:

- Modelo inercial elástico;
- Modelo inercial rígido;
- Modelo do regime quase permanente.

(e.g., Simões *et al.*, 2004; Coelho *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2008).

A equação de Hazen-Williams também é bastante utilizada em projetos e modelos de redes de abastecimento de água, sendo também a equação e os valores de constante utilizados no modelo hidráulico da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz. A sua equação utiliza a constante C (constante Hazen-Williams) de modo a indicar os valores das rugosidades no interior

das condutas de água, tendo em conta a natureza da conduta. São efetuadas demonstrações, através de dados históricos de estudos, relativas à constante C mostrando que é uma função forte do número de Reynolds para o tamanho da conduta. Muitos *softwares*, e documentos, fornecem valores de C com base no tipo de natureza da conduta (por exemplo se ferro fundido, PVC ou fibrocimento), estado de conservação e idade da conduta, tendo a equação de Hazen-Williams faixas aplicáveis, restritas, para o número de Reynolds. No entanto, um C válido para uma determinada conduta de água com um específico número de Reynolds poderá ser utilizado para estimar a rugosidade de uma conduta, podendo depois ser usado pela equação racional de Darcy-Weisbach sem quaisquer limitações de alcance (Liou C., 1998).

2.8.3 Calibração do modelo

A calibração de um modelo é o processo de aferição e validação desse modelo para várias condições de funcionamento selecionados, permitindo que se possa utilizar com confiança suficiente no âmbito da análise pretendida. Os sistemas de distribuição de água informatizados contêm informações acerca dos consumos, ainda que os consumos base e os padrões de consumo contenham grandes incertezas. Por este motivo a calibração do modelo informatizado é essencial para obter uma representação tão real quanto possível de uma rede de distribuição de água. Os processos de corrosão e de deposição nas condutas de água e órgãos de manobra fazem com que a rugosidade aumente e os diâmetros das condutas de água diminuam. Outro dado que é de difícil determinação são os consumos em cada nó do modelo, pois variam significativamente constante o número de consumidores ligados em cada troço da rede de distribuição de água (Kang e Lansey, 2009; Koppel e Vassiljev, 2011; Vaasiljev e Koppel, 2015; Vassiljev *et al.*, 2015). Apesar de serem já utilizados modelos de calibração para estes casos específicos, estes parâmetros são estabelecidos através de valores de experiências empíricas e/ou valores médios da avaliação estatística (Ates, 2001; Savic *et al.*, 2009; Ostfeld *et al.*, 2012; Ates, 2017). A recolha dos dados de caudal e pressão num processo de modelação têm relevância e são motivados pela estimativa das solicitações e das condições de fronteira do sistema e pelos dados que caracterizam o comportamento real do sistema. A estimativa correta do consumo de água e o padrão de consumo nos nós poderão ser difíceis de obter, ainda assim são informações

essenciais para a calibração e para posterior uso no modelo (Savic *et al.*, 2009; Vassijlev *et al.*; 2015; Kun *et al.*, 2015). Para o modelo estar bem calibrado tem de obedecer a um determinado grau de exatidão, podendo ser pré-estabelecido, como um requisito prévio do modelo ou pode resultar do próprio processo de calibração. A fase de calibração permite: 1) cumprir com o grau desejado de fiabilidade do modelo, 2) adquirir ou aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento do sistema, 3) descobrir e eliminar erros nos dados ou falhas do conhecimento do sistema. Para a calibração de modelos e simulação existem dois tipos de intervenção:

- » A realização de testes específicos e localizados em subconjuntos de rede, para verificação das perdas de carga localizadas e os coeficientes de perda de carga das condutas;
- » A realização de comparações estruturadas e sistematizadas entre medições em cenários habituais de operação, hora de ponta e de vazio, e os valores correspondentes obtidos através do modelo. Este tipo de intervenção corresponde à calibração do modelo e na incorporação de resultados obtidos nos testes.

A medição de pressões fornece dados extremamente importantes para a calibração de modelos de redes de distribuição de água, nomeadamente pelo ganho de sensibilidade ao sistema e resolução de variados problemas operacionais. As medições podem ser feitas em qualquer ponto de acesso, seja na conduta, nos hidrantes e bocas-de-incêndio, bocas de rega, tomadas em pressão e torneiras de serviço normais sendo medida através de manómetros, portáteis ou fixos, digitais ou analógicos, com leitura instantânea ou com capacidade de registo através de loggers. Os loggers permitem maior eficácia mas exigem sincronismo entre um conjunto de medidores. A medição de caudal num sistema de abastecimento de água é feita através de medidores em pontos-chave da rede que incluem entradas e saídas de reservatórios, estações elevatórias, entradas e saídas de sistemas, subsistemas, incluindo zonas de medição e controlo de perdas (Coelho *et al.*, 2006; Xhafa *et al.*, 2016). No domínio da construção e calibração de modelos, os testes de rede, prática destinada a obter estimativas específicas de certos parâmetros do sistema (coeficientes de perda de carga ou os diâmetros internos das condutas com incrustações), são importantes na aferição do modelo, destacando-se alguns tipos de testes usuais como: testes de perda de carga, testes de caudal de incêndio e testes de bomba. A análise de sensibilidade deve ser efetuada para evitar que erros de natureza vária se possam anular mutuamente, mascarando o resultado final. É importante que os

parâmetros sejam alterados um a um e de forma independente. A calibração de um modelo não tem de ser realizada para cenários em períodos alargados, podendo ser perfeitamente realizada em cenários específicos (consumos médios e máximos), como nos modelos estáticos, evitando a introdução de um maior número de graus de liberdade pela utilização da variável tempo. Sem boas estimativas de parâmetros, um modelo de simulação pode não estar a representar a realidade e, portanto, todas as decisões de planeamento ou operação na rede feitas com base na análise de simulação podem produzir erros gravíssimos na operação das mesmas. Como as medições são sempre inferiores ao número de condutas que o modelo contém, torna-se impossível calibrar a rugosidade troço a troço. A perda de carga depende da rugosidade da conduta, do diâmetro e do caudal (e.g., Annus *et al.*, 2015).

Habitualmente para a calibração da rugosidade dos troços das condutas são abordadas duas formas de a realizar, sendo elas: a) através das medições de pressão; b) através das medições de pressões e consumos de água. No presente trabalho utilizaram-se as pressões medidas nos 20 pontos de monitorização.

- a) Cálculo da rugosidade com base nas medições de pressão – baseia-se num conjunto de pontos de medição de pressão na rede de distribuição de água e o caudal de saída dos reservatórios. Adicionalmente a estes dados devem ser medidos os caudais em alguns troços de conduta, com a natureza pretendida para que posteriormente se possam comparar os dados da calibração através da medição de pressão. Devem também ser ajustados os padrões de consumo no modelo da rede de distribuição de água de modo a garantir equilíbrio, sob a condição da seguinte equação:

$$Pat_i = Pat_{typ.i} \times \frac{Dem_{med.i}}{Dem_{typ.i}} \quad (\text{Eq. 9})$$

onde Pat_i é o coeficiente padrão para o instante i , $Pat_{typ.i}$ é o coeficiente do padrão tipo, $Dem_{med.i}$ é o consumo medido e $Dem_{typ.i}$ é o consumo calculado com o padrão tipo. A correção dos padrões irá permitir atingir o equilíbrio entre os consumos medidos e modelados;

- b) Cálculo da rugosidade com base nas medições de pressão e caudal – baseia-se num

conjunto de pontos de medição de pressão e caudal na rede de distribuição de água. Os multiplicadores do padrão de consumo são corrigidos de acordo com o equilíbrio em cada subárea. Utilizando a equação 9 para a correção dos consumos para cada subzona e com o modelo informatizado como o EPANET 2.0, são aplicados os multiplicadores dos padrões de consumo aos consumos base determinando assim o consumo real efetivo.

Ainda assim, as metodologias utilizadas por Vassiljev *et al.* permitem melhores resultados na calibração dos consumos, caudais aduzidos, do que para a calibração da rugosidade das condutas (*e.g.*, Kapelan *et al.*, 2005; Morosini *et al.*, 2014; Koppel e Vassiljev, 2011; Vassiljev *et al.*, 2015).

2.9 Modelos de simulação hidráulica

Os comportamentos de uma rede de distribuição de água, com a sua multiplicidade de condições hidráulicas dependentes da sua infraestruturacão e desenho hidráulico, não são de fácil perceção, sendo muitas vezes somente detetáveis o seu mau comportamento, pelos utilizadores ou EG, quando falta a água e/ou a pressão, a coloração da água muda ou existem elevados valores de perdas de água. Os modelos de simulação são ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável, analisar e prever, o comportamento hidráulico e de qualidade da água da rede de distribuição (Coelho *et al.*, 2006). Os sistemas informáticos proporcionam enormes melhorias para a modelação de uma rede de distribuição, entre elas:

- Organização sistemática, de edição, e de comprovação de erros nos dados de entrada requeridos pelo modelo;
- Ajuda na revisão nas saídas dos modelos, como por exemplo mapas codificados por cores, gráficos de séries temporais, histogramas, mapas de curva de nível e propostas com objetivos específicos;
- Partilha de dados com outros *software*;
- Capacidade avançada de análise de dados, como optimização dos diâmetros de condutas, controlo de bombagens, calibrações automáticas e modelação da qualidade da água (Mays, 2000).

Os modelos têm múltiplas aplicações em todas as fases de uma rede de distribuição de água (planeamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação), a seleção de um programa para simulação de um sistema de abastecimento de água deve ter em conta, prioritariamente, o fim a que se destina, o que determina o tipo de análise a efetuar, nomeadamente uma simulação estática, dinâmica ou de qualidade. Existem vários modelos disponíveis para trabalhos de modelação hidráulica e de qualidade da água. Neste subcapítulo faz-se uma análise bibliográfica de alguns dos modelos mais utilizados através de uma síntese das principais características dos mesmos. Os modelos referenciados na Tabela 2.1 são os modelos mais utilizados para a simulação de sistemas de abastecimento de água, apresentando-se as principais características dos modelos Hydrocad, Watercad, EPANET 2.0, Strumap e Synergee Water.

Tabela 2.1: Comparação de modelos de *software* para simulação hidráulica

Modelos	Análises hidráulicas	Análise de qualidade	Gestão de dados			Natureza
			in	out	interface	
Hidrocad	Análise estática; Método iterativo Newton/Rapson; Modelação de rede de incêndio e de emergência.	Não aplicável	Com ou sem CAD; Numera automaticamente nós e troços; Padrões de consumos variados	Tabular; Ligações ao Word, Excel e Autocad	Importa e exporta dados em dxf e txt	Comercial
Watercad	Análise estática e dinâmica; Perdas de carga de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams e Manning-Strickler; Resolução: método gradiente; Modelação da rede de emergência e de incêndio	Determina idade da água; Determinação do percurso da água; Resolução: MDVE; Cinética de reacções no seio da água e nas paredes das condutas	Autocad; Numera automaticamente nós, troços, bombas e reservatórios; Padrões de consumo variados; Regras de controlo de bombas e válvulas; Curva de bombas; Modelo de teste de dados	Tabular ou gráfica; Saída para fax, plotter ou impressora; Calibração de consumos e rugosidade; Ligação ao Word, Excel, Access, Autocad e ArcView (SIG)	Click-dragdrop-move”; Interface gráfica para Windows 95, 98, 2000, NT, Autocad; Função de mapa; “Query”; Guias “pop-up”; Interativo para várias operações	Comercial
Epanet	Análise estática e dinâmica; Perdas de carga: Darcy – Weisbach, Hazen-Williams e Manning-Strickler Resolução: método gradiente Modelação de bombas com velocidade constante e variável; Modelação de reservatório de qualquer forma; Modelação de vários tipos de válvulas	Várias origens; Determinação da idade da água; Identificação do percurso da água Resolução: métodos comandados pelo tempo; Cinética das reacções no seio da água e parede da tubagem	Com ou sem autocad; Padrões de consumo variados; Regras de controlo de bombas e válvulas; Curvas de bombas; Modelo de teste de dados	Tabular ou gráfica; Calibração de consumos e rugosidade; Ligações ao Word, Excel, Access, Autocad, Arcview (SIG); Permite personalizar relatórios e filtrar resultados	Sistema: “point click dagdrop move” Função de mapa query; Guias “pop-up”, “wizard” e tutorias interativos para várias operações; Visão animada no tempo	Gratuito
Strumap	Análise estática e dinâmica; Análise de fugas; Relatório de desempenho configurável; Balanço Hídrico	Várias origens; Determinação da idade da água; Determinação de percurso da água	Gráficos, mapas, linhas e dados de lógica; Integra informação georreferenciada; Capacidade de manipular grandes conjuntos de dado a partir de muitas fontes	Tabular, gráficos ou gráfica; Permite personalizar relatórios e filtrar resultados	Base de dados: Oracle 9i; Visual Basic; SIG; Importa e exporta: Excel e modelos em rede	Comercial
Synergee water	Análise estática e dinâmica; Perdas de carga: Darcy – Weisbach, Hazen-Williams e Manning-Strickler;; Módulo de delimitação de zonas.	Várias origens; Determinação da idade da água; Determinação de percurso da água; Determinação da concentração de 2 substâncias em simultâneo	Padrões de consumo variados; Regras de controlo de bombas e válvulas; Curvas de bombas; Módulo de gestão de clientes; Extração de subsistemas.	Tabular ou gráfica; Permite várias vistas simultâneas; Módulo Geo Backgroud para imagens raster ou vetoriais; Filtração dos resultados	Sistema: “point –clik-dragdrop move”; Importa ou exporta dados do ACCESS e gráficos: DXF, DGN, MIF, SHP, TIF, BMP; Pode permutar dados com SCADA	Comercial

2.10 EPANET 2.0

O EPANET 2.0 é um *software* que possui um pacote de recursos hidráulicos de modelação de redes de distribuição de água, desenvolvido pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). O EPANET 2.0 realiza simulações com variações temporais do comportamento hidráulico da rede e da qualidade da água em condutas sob pressão. É uma ferramenta útil de investigação que permite conhecer a evolução da qualidade da água ao longo do tempo e do espaço, dentro de um sistema de distribuição.

O EPANET 2.0 foi concebido de modo a servir de ferramenta de apoio à análise de SAA, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino da água para consumo humano. O estabelecimento de cenários de projeto, a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento de cloro residual e a avaliação dos consumos são alguns dos potenciais que as suas simulações permitem. O simulador criado pela USEPA está capacitado para realizar dois tipos de modelação:

- a) Hidráulica;
- b) Qualidade da Água.

O EPANET 2.0 contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, de que se destacam as seguintes características:

- Dimensão da rede a analisar ilimitada;
- 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 constante e variável, de geometrias diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlos simples, dependentes de uma só condição ou em controlos com condições múltiplas (regras).

Apesar da não utilização do simulador EPANET 2.0 para a caracterização da qualidade na rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, foi considerada importante uma breve explicação acerca das potencialidades do mesmo. Assim e para a modelação da qualidade da água, o EPANET 2.0 fornece as seguintes possibilidades:

- Modelação de transporte de um constituinte não reativo (traçador) através da rede ao longo do tempo;
- Modelação de transporte, mistura e transformação de um constituinte reativo, à medida que este sofre decaimento, (cloro residual) ou crescimento (subproduto da desinfecção) com o tempo;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Cálculo da percentagem de caudal que, com origem em determinado nó, atinge qualquer outro nó ao longo do tempo;
- Modelação de reacções de decaimento do cloro no seio do escoamento e/ou na parede da tubagem;
- Definição de limites para a transferência de massa na modelação de reacções na parede;
- Permitir que as reacções de crescimento ou decaimento sejam controladas por um valor de concentração limite;
- Aplicação à rede de coeficientes de reacção globais, que podem ser modificados individualmente para cada tubagem;
- Possibilidade de relacionar o coeficiente de reacção na parede com a rugosidade da tubagem;
- Definição de variação temporal da concentração ou de entrada de massa em qualquer ponto de rede;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável como reatores de mistura completa, de escoamento em êmbolo ou ainda de mistura com dois compartimentos.

Para a modelação é necessário criar um novo projeto que considere a elaboração esquemática da rede de distribuição de água, designado por “Mapa da Rede”. Para a elaboração deste projeto, o EPANET 2.0 contém objetos físicos, Tabela 2.2, que podem ser visualizados na janela do mapa da rede, e objetos não-físicos, Tabela 2.3, que envolvem informação relativa às condições de dimensionamento e operação.

Tabela 2.2: Objetos Físicos do modelo de simulação EPANET 2.0 (Loureiro e Coelho, 2004)

	Objetos	Definição	Dados de entrada	Resultados de modelação
Nós	Junções	Pontos da rede onde os troços se ligam entre si e onde a água entra e sai da rede.	Cota; Consumo; Qualidade inicial da água.	Carga hidráulica total (nível de água no caso de RNF3 e RNV4); Pressão (altura piezométrica); Qualidade da água
	Reservatório de nível fixo (RNF)	Considerados como nós especiais que representam um volume de armazenamento de água de capacidade ilimitada e carga hidráulica constante, constitui assim, origens ou sumidouros de água externos à rede	Nível da água; Qualidade inicial da água	Não aplicável
	Reservatório de nível variável (RNV)	Considerados nós especiais da rede que possuem uma capacidade de armazenamento limitada e podendo o volume da água armazenado variar ao longo da simulação	Cota de fundo (onde a altura da água é zero); Diâmetro; Altura da água mínima; Altura da água máxima; Altura de Água inicial para cenário a simular; Qualidade de água inicial	Não aplicável
Troços	Tubagem	São troços que transportam água entre vários pontos da rede. O EPANET 2.0 considera que o escoamento ocorre em pressão em todas as tubagens, ao longo da simulação	Diâmetro; Comprimento; Coeficiente de rugosidade (cálculo da perda de carga contínua); Estado (aberto ou fechado)	Caudal; Velocidade; Perda de carga.
	Bombas	Caudal; Velocidade; Perda de carga.	Nó inicial e final; Curva da Bomba (combinação de valores de carga hidráulica e caudal que definem a curva de funcionamento)	Não aplicável
	Válvulas	São troços que limitam a pressão ou o caudal num ponto particular da rede	Nó inicial e final; Diâmetro; Estado (aberto ou fechado)	Nó inicial e final; Diâmetro; Estado (aberto ou fechado)

Tabela 2.3: Objetos não físicos do modelo de simulação EPANET 2.0 (Loureiro e Coelho, 2004)

	Objetos	Definição
Curvas	Curva da bomba	Representa uma relação entre altura de elevação e o caudal, definindo as condições de funcionamento desta, para uma velocidade de rotação nominal
	Curva de rendimento	Relaciona o rendimento do grupo com o caudal bombeado. A curva é utilizada apenas para cálculos energéticos
	Curva de volume	Determina o modo como o volume de água armazenado num reservatório de nível variável, varia com o nível de água
	Curva de perda de carga	Utilizada para descrever a perda de carga através de uma válvula e função do caudal.
	Padrões temporais	São constituídos por um conjunto de fatores multiplicativos que podem ser aplicados ao valor de uma determinada grandeza, de forma a traduzir a sua variação no tempo
	Controlos	São um conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede opera ao longo do tempo. Estes especificam o estado dos troços selecionados em função do tempo, alturas de água num reservatório de nível variável e valores de pressão em pontos específicos da rede

2.11 EPANET 2.0 na verificação da qualidade da água

A qualidade da água numa rede de distribuição de água pode ser facilmente comprometida devido a incidentes, intencionais ou não, provocando danos irreparáveis para as EG relativamente ao garante da promoção da saúde pública (Berry *et al.*, 2008; Janke *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2018), podendo este tipo de incidentes provocar milhares de mortos ou prejudicar a confiança dos consumidores ao seu SAA (Khorshidi *et al.*, 2018). Por exemplo, no ano 2000 a água potável da cidade de Walkerton, na região de Ontário no Canadá, ficou contaminada afetando gravemente 2300 pessoas e causando a morte a sete pessoas. Diante este tipo de cenários é quase impossível ter uma proteção de toda a rede de distribuição, contudo podem ser implementados sistemas de monitorização em tempo real, mais conhecidos por sistemas de alerta de contaminação (SAC) (Hart e Murray, 2010; Rathi e Gupta, 2014; Khorshidi *et al.*, 2018). A resposta à emergência de contaminação é iniciada quando uma injeção real ou potencial do contaminante é propagada (ou se propagará) sobre a rede de distribuição de água, e se estende até que a situação seja estabilizada, por exemplo, quando o risco de consequências para a saúde volta às condições normais (*e.g.*, Lindell *et al.*, 2006; Rasheck e Brumbelow, 2015). Outros casos de contaminação podem ocorrer, por exemplo, devido efeitos da corrosão das condutas, ao acumular dos lixiviados do material constituinte das condutas de água ou à desagregação de capas de biofilmes entretanto gerados nas paredes das condutas. Para a simulação destes casos, entre outros, os modelos criados pelo EPANET 2.0 para a qualidade da água conseguem verificar o movimento e transformação de substâncias físico-químicas ou bioquímicas que poderão estar em solução na água. Os modelos permitem ainda o cálculo do tempo de percurso entre dois pontos da rede e da proporção da água originária de um qualquer nó que é consumida em todos os outros nós da rede (rastreamento de água). As utilidades dos modelos de qualidade da água dão-se assim a dois níveis:

1. Direto – permite o cálculo da propagação de concentrações de parâmetros de qualidade, bem como de tempo de percurso e do rastreamento da água proveniente de origens específicas;
2. Indireto – contribui para a qualidade dos modelos hidráulicos sobre os quais se baseia, tanto pela exigência adicional que sobre eles coloca, como pelos meios adicionais de aferição dos resultados que possibilita (Coelho *et al.*, 2006; Mays, 2000).

As equações que o EPANET 2.0 utiliza para obter uma solução de qualidade da água baseiam-se nos princípios da conservação da massa, conjugados com leis cinéticas de reação. Os principais aspetos a ter em conta na modelação de qualidade da água são:

- Transporte por advecção em tubagens;
- Mistura nos nós;
- Mistura nos reservatórios;
- Reações no seio do escoamento;
- Reações na parede da tubagem;
- Algoritmo lagrangeano de transporte (Loureiro e Coelho, 2004).

2.12 Caso de estudo de calibração

O estudo efetuado por Gama *et al.* (2015) foi o caso escolhido para ser apresentado devido à similitude do estudo, apesar da diferença da dimensão da rede de abastecimento, assim como a utilização de simuladores hidráulicos de modo a testar estratégias de optimização e melhoramento da eficiência, de água e energia, de modo a provocar poupanças ambientais e económicas de elevada expressão. Assim, este caso estudo incide no estudo para a rede de distribuição de água da cidade de Milão, Itália, cuja empresa Metropolitana Milanese S.P.A. (MM) é a EG da rede de distribuição de água de Milão que será o caso de estudo a apresentar neste subcapítulo. O sistema de Milão fornece água para os cerca de 1.3 milhões de habitantes e os 0.7 milhões de visitantes, sendo atualmente operado como uma única zona de gestão de pressão (ZMP) de modo a poupar energia. A cidade de Milão está densamente coberta por infraestruturas e edificações em toda a sua superfície, sendo a área de Milão (182 km²) quase duas vezes a do centro de Paris (100 km²), mas a densidade populacional da primeira por quilómetro quadrado (≈ 7800 habitantes por km²) é apenas cerca de um terço da de Paris (≈ 22000 habitantes por km²). Milão é abastecida somente por fontes subterrâneas que são extraídas e direcionadas para zonas de armazenamento onde a água é tratada e posteriormente bombeada para um sistema de reservatórios de água e posterior distribuição para os seus consumidores. Para carregamento dos dados os autores

recorreram aos sistemas de faturação, com dados de aproximadamente 50000 consumidores, sendo a principal questão para a MM a redução da quantidade de energia utilizada para o abastecimento de água, num montante de aproximadamente 16000€/ano (50% em gastos na bombagem da zona de armazenamento, 45% na bombagem da rede de distribuição de água e 5% noutras instalações). Este projeto foi desenvolvido no âmbito do projeto EU-FP7 - ICeWater, um novo modelo para a rede de distribuição de água da cidade de Milão e foi desenvolvida com a UNESCO-IHE, sendo utilizado para dar apoio à decisão que visa a redução do consumo de energia durante a operação com a ajuda de otimização multiobjectivo. Foi implementada uma setorização do sistema dividindo a rede em ZMC menores, Figura 2.7, através da seleção de horários de bombagem em cada estação ou ZMP, embora o sistema de apoio à decisão tenha sido implementado na área piloto (Abbiategrosso), e adquiridos e instalados nessa ZMC piloto 250 sensores e *dataloggers*. Para a construção do modelo foram recolhidos vários dados, e enquanto a entidade gestora tratava do processo de aquisição do *software* para modelação Infoworks WS a opção para o projeto piloto foi avançar com o EPANET 2.0. Verificou-se que a informação exibida no GIS não correspondia à topologia da rede de distribuição de água, com erros topológicos que comprometiam as simulações, tais como: localização das condutas, elevações erradas, falta de elementos nas estações de bombagem, e diâmetros das condutas, o que exigiu uma atualização dos dados (12000 correções). Na ZMC piloto foram verificadas no terreno 1100 válvulas (60% do total de válvulas da ZMC piloto). O padrão de consumos foi resultado da recolha de dados de 24 horas por sensores *Automated Meter Readings* (AMR), enquanto a operação típica de esquemas de bomba foi obtida a partir do Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) central com uma resolução de tempo de uma hora. Com o desenvolvimento deste trabalho verificou-se a inexistência de SAA com tão grande número de estações de bombagem na União Europeia como em Milão. Logo de início foi também verificado que a capacidade instalada de bombagem é três vezes o consumo médio, comprovando o excesso existente e a necessidade de uma operação eficiente do sistema. Assim, com a simulação da ZMC piloto (Figura 2.7), concluiu-se que existe uma diferença mínima entre os resultados obtidos e a simulação, pelo que a aplicabilidade de um grande modelo sem simplificações com todas as estruturas informáticas disponíveis é possível. O trabalho não está considerado como finalizado, pelo que num futuro próximo, será necessário continuar com as campanhas de medição de campo para a calibração do modelo. Se tal não acontecer o modelo agora criado pela

MM rapidamente se torna obsoleto, devido à constante mudança no sistema de topologia e das estratégias operacionais.



Figura 2.7: Esquema do caso estudo na cidade de Milão (Gama *et al.*, 2015)

2.13 Modelos de gestão em Portugal do setor da água

O abastecimento público de água às populações constitui um dos três serviços públicos de carácter estrutural, essencial ao bem-estar geral, à saúde pública e à segurança coletiva das populações, à atividade económica e proteção do ambiente, juntamente com o serviço de saneamento e resíduos urbanos. Em 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas declarou o acesso à água potável e ao saneamento um direito humano essencial ao pleno gozo da vida e de todos os outros direitos humanos, implicando este ato que os Estados respeitem, protejam e assegurem o direito a estes serviços. Contudo, o direito não deve ser confundido com a

gratuidade dos serviços. Os serviços e as instalações devem ser fisicamente acessíveis e de acesso não discriminatório por todos, possuírem capacidade adequada e qualidade aceitável, serem economicamente acessíveis e culturalmente adaptados. Segundo a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) relativamente à estrutura de mercado, em Portugal e genericamente nos países desenvolvidos, o setor da água constitui aquilo a que se chama uma indústria de rede, quer em alta quer em baixa, tornando a gestão destas infraestruturas em situações de monopólio natural, ainda que este monopólio seja uma falha natural do mercado. Isto acontece devido ao facto de o mercado não ser competitivo, sendo a regulação económica do setor feita de forma a reduzir a perda do bem-estar social. Este setor caracteriza-se como capital-intensivo e com períodos prolongados de retorno do investimento. Tal justifica-se pelo elevado investimento necessário numa fase inicial, cujo retorno se verifica a longo prazo, com a suavização das tarifas praticadas ao longo do período de vida útil da infraestrutura. Atualmente, e citando o relatório RASARP 2017, o quadro legal da gestão e da exploração dos sistemas multimunicipais e municipais tem sido, gradualmente e muito lentamente, construído através de vários diplomas legais. (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Modelo de gestão dos serviços de águas e resíduos em Portugal (ERSAR, 2017)

MODELOS DE GESTÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS DE TITULARIDADE ESTATAL		
MODELO	ENTIDADE GESTORA	TIPO DE COLABORAÇÃO
Gestão direta	Estado (não existe atualmente qualquer caso)	Não aplicável
Gestão delegada	Empresa pública (existe apenas o caso da EPAL)	Não aplicável
Gestão concessionada	Entidade concessionária multimunicipal	Participação do Estado e municípios no capital social da entidade gestora concessionária, podendo ocorrer participação minoritária de capitais privados no caso dos serviços de abastecimento de água e saneamento de águas residuais ou maioritária no caso do serviços de gestão dos serviços urbanos.
MODELOS DE GESTÃO UTILIZADOS EM SISTEMAS DE TITULARIDADE MUNICIPAL OU INTERMUNICIPAL		
MODELO	ENTIDADE GESTORA	TIPO DE COLABORAÇÃO
Gestão direta	Serviços municipais	Não aplicável
	Serviços municipalizados ou intermunicipalizados	Colaboração entre dois ou mais municípios no caso de serviços intermunicipalizados
	Associação de municípios	Constituição de uma pessoa coletiva de direito público integrada por vários municípios
Gestão delegada	Empresa constituída em parceria com o Estado (integrada no setor empresarial local ou do Estado)	Participação do Estado e municípios no capital social da entidade gestora da parceria
	Empresa do setor empresarial local sem participação do Estado (constituída nos termos da lei comercial)	Eventual participação de vários municípios no capital social da entidade gestora, no caso de serviço intermunicipal, podendo ocorrer participação minoritária de capitais privados
	Junta de freguesia	Acordos ou protocolos de delegação entre município e junta de freguesia
Gestão concessionada	Entidade concessionária municipal	Parceria Público-Privada (municípios e outras entidades privadas)

A **gestão direta** dos sistemas de titularidade municipal pode ser feita através dos serviços municipais, municipalizados ou intermunicipalizados, que se regem pelo regime jurídico de funcionamento dos órgãos dos municípios e das freguesias. A diferença entre os serviços municipais e municipalizados consiste no grau de autonomia administrativa e financeira cujas tarifas são fixadas pelos respetivos órgãos, podendo ser definidas da seguinte forma:

1. Os sistemas multimunicipais são aqueles sistemas que têm titularidade estatal que sirvam pelo menos dois municípios e exijam a intervenção do Estado, em função de razões de interesse nacional;
2. Os sistemas municipais são todos os outros, relativamente aos quais cabe aos municípios, isoladamente ou em conjunto, através de associações de municípios ou em parceria com o Estado, definir o modo de organização e gestão.

A **gestão delegada** ocorre quando o Estado cria uma empresa que detém o controlo em exclusivo, transferindo para a mesma um conjunto de actividades (captação, tratamento, adução e distribuição de água para consumo humano) por tempo indeterminado. Em Portugal somente existe um caso de gestão delegada, a EPAL - Empresa Pública das Águas Livres, em Lisboa. Desde a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, os contratos de gestão delegada a celebrar entre os municípios e as empresas devem definir objetivos, iniciativas, investimentos e tarifário a seguir por estas, sendo os mesmos sujeitos a revisões de cinco em cinco anos. A Lei n.º 75/2013, de 12 de setembro, que revogou a Lei n.º 159/99, de 14 de setembro, continua a permitir que os municípios, por via da delegação de competências, transfiram para as freguesias tarefas inseridas no âmbito das suas atribuições, como o fornecimento de água.

A **gestão concessionada** é efetivada com a criação dos sistemas e a atribuição dessa gestão, pelo Estado, através de decreto-lei seguido de contrato de concessão, por um prazo de cinquenta anos. O Estado ainda assim tem poderes de fiscalização, autorização, suspensão e aprovação. A entidade reguladora terá um papel preponderante na fixação das tarifas e na supervisão dos aspetos económico-financeiros dos sistemas de titularidade estatal. As bases dos contratos de concessão dos sistemas multimunicipais permitem a subconcessão e o trespasse, desde que autorizados pelo Estado, para uma entidade de capitais maioritariamente públicos. A abordagem

no âmbito dos modelos de gestão visa assegurar os objetivos fixados na estratégia e garantir a sustentabilidade económica e financeira do sistema, garantindo a recuperação integral do custo dos serviços, otimizando a gestão operacional, eliminando custos de ineficiência e contribuindo para o reforço e dinamização do tecido empresarial privado.

A ERSAR tem por missão a regulação dos setores dos serviços de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos, bem como as funções de autoridade competente para a coordenação e fiscalização do regime da qualidade da água para consumo humano, mantendo o seu *status* de inovador na Europa como regulador de água, devido à sua ampla intervenção na regulação estrutural do setor, na regulamentação do comportamento dos operadores e em outras atividades regulatórias (Marques, 2010; Marques e Pinto, 2018). A ERSAR visa assim assegurar a sustentabilidade global do setor, intervindo a três níveis:

1. Sustentabilidade social dos serviços, garantindo a proteção dos interesses dos utilizadores através do acesso ao serviço, da sua adequada qualidade e da razoabilidade do preço;
2. Sustentabilidade económica, infraestrutural e de recursos humanos das entidades gestoras;
3. Sustentabilidade ambiental na utilização de recursos ambientais e na prevenção da poluição, a nível dos impactos dos serviços na água, no ar e no solo.

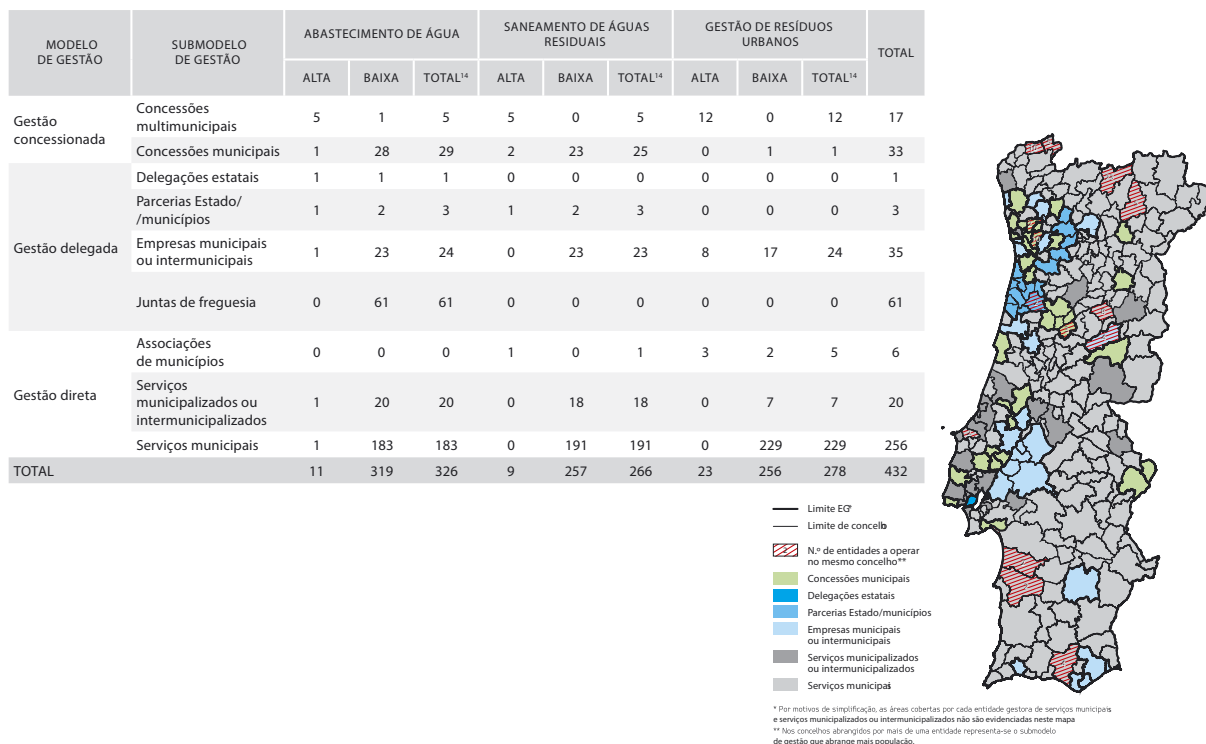


Figura 2.8: Distribuição geográfica e panorama dos serviços de abastecimento de água em baixa (ERSAR, 2017)

A atividade regulatória, Figura 2.9, assenta num modelo de regulação desenvolvido em 2003 para o Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e que tomou em consideração o quadro de empresarialização definido pelo Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de novembro, que atribuiu ao Estado a responsabilidade da prestação dos serviços de águas e resíduos, no caso dos sistemas multimunicipais, prevendo a possibilidade da sua concessão a empresas de capitais maioritariamente públicos, assim como a concessão de sistemas municipais a empresas, independentemente da titularidade dos seus capitais ser pública ou privada. A evolução da legislação conduziu ao progressivo alargamento do âmbito de atuação e dos poderes do regulador, tendo o desenho do quadro legal ficado completo com o Decreto-Lei n.º 277/2009, de 2 de outubro, que alargou a regulação a todas as entidades gestoras destes serviços, independentemente do modelo de gestão, passando a existir maior uniformidade de procedimentos por parte da entidade reguladora junto de todas elas. Assim, além da regulação estrutural do setor, focada na criação de organização, regras e instrumentos para o bom funcionamento do setor, a ERSAR prossegue atribuições de regulação das áreas económica, da qualidade do serviço, da interface com os utilizadores e de regulação legal e contratual, exercendo também as funções de autoridade

competente para a qualidade da água para consumo humano relativamente às entidades gestoras de abastecimento de água (ERSAR, 2017).

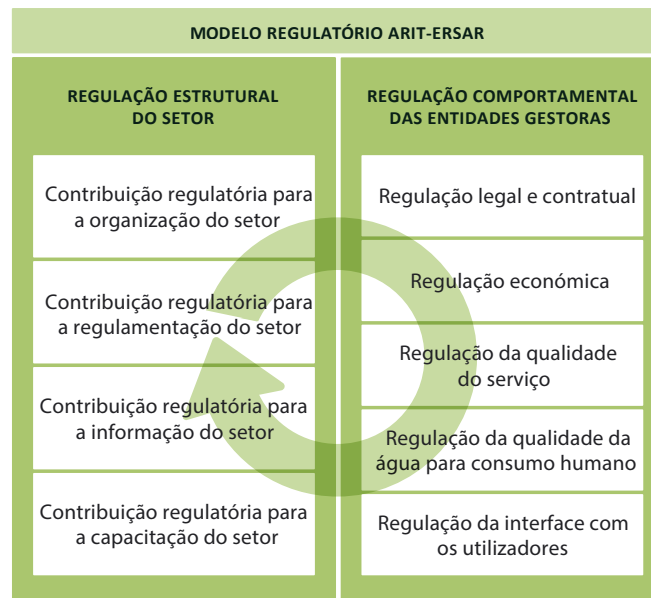


Figura 2.9: Modelo regulatório da ERSAR (ERSAR, 2017)

Ainda assim para Marques e Pinto (2015) a ERSAR apesar da importante atividade reguladora ainda tem um poder coercivo limitado, com fraca capacidade de impor sanções, no que à qualidade da água diz respeito.

2.14 Realidade do Alentejo Central

Para um melhor enquadramento na realidade regional onde o projeto foi desenvolvido apresenta-se, na tabela 2.5, uma análise *benchmarking*, tendo por base os dados do RASARP 2017 e analisando seis indicadores demonstrativos do estado da rede de distribuição de água das catorze entidades gestoras, municípios, e também da gestão dessas mesmas infraestruturas.

Tabela 2.5: *Benchmarking* das entidades gestoras do Alentejo Central ((1) n.º/1000 ramais·ano; (2) n.º/ 100 km. ano; (3) l/ramal·dia; (4) kWh/ (m³·100m)). (RASARP 2017).

Entidades	Indicadores					
	AA01	AA03	AA08	AA10	AA12	AA13
Alandroal	85	0.00	41.70	48	96	1.01
Arraiolos	81	Não Respondeu	33.10	13	16	Não Respondeu
Borba	99	0.00	62.20	121	324	Não Disponível
Estremoz	83	0.10	69.20	82	412	0.56
Évora	91	1.20	22.50	39	89	0.45
Montemor-o-Novo	78	1.00	22.00	17	69	0.94
Mora	84	Não Respondeu	45.00	6	52	0.82
Mourão	91	0.00	62.90	85	126	Não Respondeu
Portel	91	0.00	43.80	65	76	Não Disponível
Redondo	91	0.00	39.60	31	35	Não Respondeu
Reguengos de Monsaraz	94	0.00	39.10	10	102	1.15
Vendas Novas	100	0.00	40.80	79	8	Não Disponível
Viana do Alentejo	87	2.00	51.40	68	132	Não Disponível
Vila Viçosa	99	0.00	Não Respondeu	1	86	Não Respondeu
Média do continente	96	0.80	29.80	40	126	0.49

Área predominantemente rural

Legenda dos indicadores: AA01 - Acessibilidade física ao serviço; AA03 - Falhas no abastecimento; AA08 - Água Não faturada; AA10 - Ocorrência de avarias; AA12 - Perdas reais; AA13 – Eficiência energética.

Os dados analisados através do *benchmarking* vêm demonstrar a necessidade, por parte das entidades gestoras do Alentejo Central, de se adequarem estratégias de ação e de investimento de modo a proporcionarem uma efetivação de processos para a gestão eficiente dos seus SAA. Os valores apresentados, em geral, em indicadores como as falhas de serviço, ocorrências de avarias, água não faturada, perdas reais e eficiência energética são a confirmação de que os trabalhos como a criação de modelos hidráulicos para as redes de abastecimento de água são de extrema importância para o desenvolvimento de qualquer tipo de planos estratégicos de ação para estas EG.

3. CARATERIZAÇÃO DA REDE, TRATAMENTO DE DADOS E CALIBRAÇÃO

O presente capítulo fará a caraterização da rede de abastecimento da cidade de Reguengos de Monsaraz, sendo aprofundada a metodologia utilizada para a extração de dados, a sua utilização, iterações realizadas e a composição de dados base no modelo.

3.1 Caraterização da Rede de Abastecimento

Reguengos de Monsaraz é um concelho alentejano com 11382 habitantes (Censos 2011), composto por quatro freguesias: Reguengos de Monsaraz, Corval, Monsaraz, e União das Freguesias de Campo e Campinho, pertencente ao distrito de Évora na região administrativa do Alentejo Central. O caso de estudo é a rede de abastecimento de água da cidade de Reguengos de Monsaraz, gerida pelo Município de Reguengos de Monsaraz, cuja extensão é 75.86 km e totaliza 2691 consumidores.

A orografia da cidade, Figura 3.1, foi a base da concepção da rede de distribuição de água, nomeadamente a tipologia e localização dos reservatórios e também a distribuição espacial das habitações, logo também da sua rede de distribuição de água. A cidade é cortada por duas linhas de festo e um talvegue, onde se encontra o Ribeiro Pelado, denominação popular para a linha de água emanilhada. Ambos os reservatórios estão colocados nos pontos mais elevados de cada linha de festo.

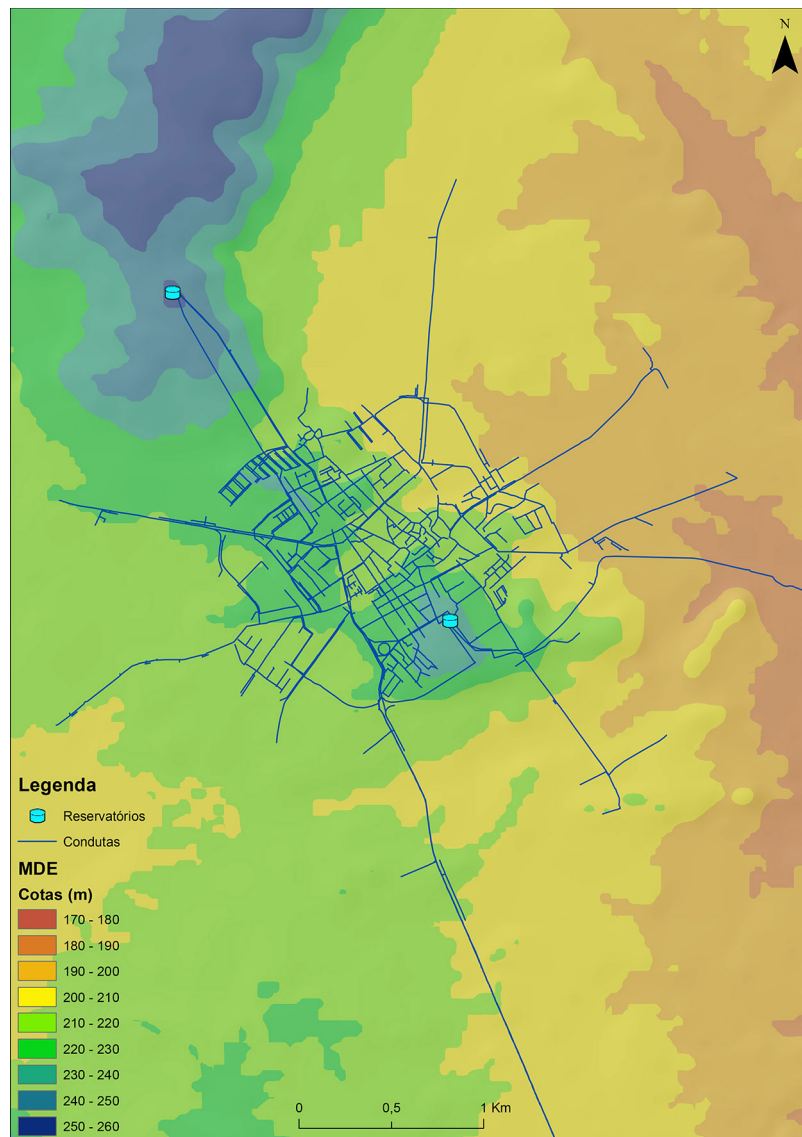


Figura 3.1: Relevo da cidade de Reguengos de Monsaraz seguindo o traçado da rede de distribuição de água (base de dados de topografia retirados do projeto SIGREDES)

A rede é abastecida por quatro reservatórios, Moinho de Vento, Moinho de Vento Elevado, Outeiro do Barro Velho e Outeiro do Barro Novo (Figura 3.2). O Reservatório do Outeiro do Barro localiza-se a Norte da cidade à cota 251.36 m, o Reservatório de Moinho de Vento situa-se a Sudeste à cota 240.75 m e o Reservatório Elevado de Moinho de Vento à cota 260.32 m. Devido a esta configuração, a rede de abastecimento tem duas condutas que servem de adução e distribuição, uma de fibrocimento e outra de PVC, de 160 mm e 200 mm, respetivamente (Tabela 3.1). A conduta de 200 mm abastece toda a área da cidade de Reguengos de Monsaraz à qual a EG chama de zona alta da cidade por elevada, ou seja cerca de 15% da rede de abastecimento

de água é aduzida pelo reservatório elevado do Moinho de Vento e pelo Outeiro do Barro Velho, propriedade da Sociedade Águas de Vale do Tejo. Os restantes 85% da rede de abastecimento de água são abastecidos pelo reservatório do Moinho de Vento, propriedade municipal, que tem à saída para a distribuição de água à cidade, uma conduta de 150 mm em fibrocimento.



Figura 3.2: Pontos de adução à rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz (a) – Reservatório Outeiro do Barro Velho, b) Outeiro do Barro Novo, c) Reservatório do Moinho de Vento, d) Reservatório do Moinho de Vento Elevado)

Tabela 3.1: Dados das infraestruturas base da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz (dados ERSAR 2017)

Rede de abastecimento do concelho (km)		159.20
	Fibrocimento	30.18
Rede de abastecimento da cidade (km)	PVC	45.68
	Total	75.86
N.º ramais de ligação		4194
N.º consumidores (maio 2018)		2691
Volume de armazenamento (m ³) - Reservatórios + Elevado (1 municipal / 3 entidade gestora em alta)		4400
Perdas reais (%)		28

A rede de abastecimento tem alguns problemas de resistência dos materiais, ocorrendo um maior número de roturas na rede executada em fibrocimento, bem como na rede em PVC com mais de 25 anos. Por este motivo, alguns setores da rede têm uma maior incidência de roturas de água e de perdas físicas, para além de problemas de colmatação e fissuração nos ramais de água, conforme mostra a Figura 3.3. Também existe um elevado número de válvulas que não estão operacionais ou não estão devidamente operacionais devido a um inexistente plano de manutenção, mas que desde 2009 têm vindo a sofrer alguns trabalhos de melhoramento, nomeadamente a substituição de válvulas de seccionamento. Alguns setores nas zonas mais antigas da cidade parecem sofrer de baixos índices de pressão, pelo que a EG aponta para três possíveis causas: 1) o subdimensionamento dos diâmetros para os consumos atuais da rede de abastecimento nessas áreas; 2) a colmatação das condutas de ramal; 3) a degradação da rede predial.



Figura 3.3: Fotografias demonstrativas das incidências mais comuns na rede de distribuição de Reguengos de Monsaraz (a), b) e f) – roturas de água nas condutas de água; b), c) e d) – inoperacionalidade de órgãos de manobra, idade das condutas e natureza; c) – subdimensionamento da rede de distribuição de água; g) biofilme nas paredes das condutas de água)

3.2 Metodologia

Relativamente à metodologia utilizada para a recolha de dados para este estudo era essencial a recolha de dados de consumos globais da cidade, através da recolha dos consumos horários, da água distribuída a partir dos reservatórios. A entidade gestora tem atualmente registos, através do seu sistema de telegestão/telemetria dos caudais aduzidos à rede de distribuição e de medidores de caudal eletromagnéticos à entrada e saída dos reservatórios, assim como o registo dos níveis dos reservatórios e suas flutuações diárias, pressões à saída e concentração de cloro. De modo a conhecer os valores e flutuações de pressão na rede, para calibração do modelo, o Município de Reguengos de Monsaraz adquiriu quatro sondas com *loggers* incorporados amovíveis, modelo “Track-It™” - registador de dados compacto, alimentado por bateria e à prova de água, que regista dados de pressão e temperatura até 64000 amostras de dados de pressão e/ou temperatura, que permitiu a realização do levantamento das pressões em vários locais. A entidade gestora possui também o cadastro georreferenciado, devidamente atualizado através da plataforma do Alentejo Central – SIGREDES – que permitiu a exportação de elevado número de dados, para além da configuração geométrica da rede para a extensão .INP a fim de serem utilizados no EPANET 2.0. A plataforma SIGREDES possui toda a informação e desenho das redes de abastecimento e saneamento dos municípios do Alentejo Central georreferenciadas (Figura 3.4).

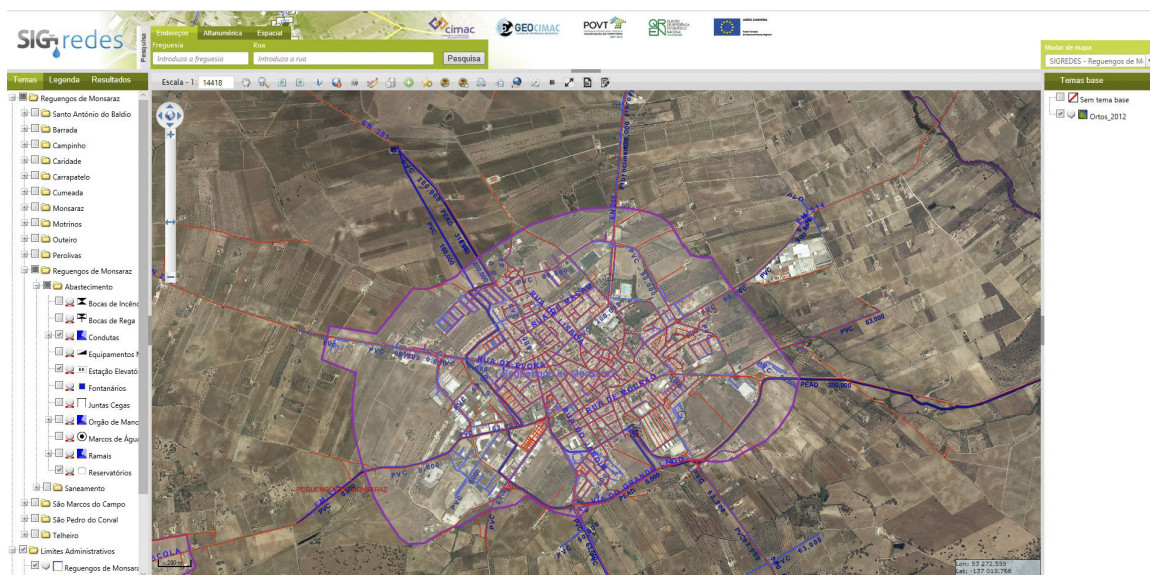


Figura 3.4: Esquema da rede de abastecimento de água da cidade de Reguengos de Monsaraz retirado da plataforma SIGREDES

O carregamento dos dados no EPANET 2.0 foi efetuado tendo em atenção três componentes:

Componente 1 - componente física do sistema

O carregamento de dados relativos à componente física do sistema foi desenvolvido em duas linhas de ação, de modo a responder aos principais objetivos: 1) abarcar os dados espaciais e topológicos para construção do desenho da rede de abastecimento no EPANET 2.0 e 2) a recolha de dados que permitam analisar o comportamento da rede e dos seus utilizadores. Assim sendo, procedeu-se da seguinte forma:

- Exportação para .NET do desenho georeferenciado da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz;
- Introdução dos dados dos nós, troços de conduta de água, reservatórios e válvulas.

Este processo deveu-se à impossibilidade de exportação de outros dados que não as coordenadas geográficas (ETRS 89). Assim sendo e para que o modelo pudesse ser submetido a ensaios foram introduzidos e verificados os seguintes dados:

1. Designação, cota e consumo base dos 2122 nós existentes no modelo;
2. Designação, comprimento, diâmetro interno e valor de rugosidade, relativo aos materiais que compunham as condutas, em cada um dos 1441 troços;
3. Designação, diâmetro, tipo de válvula e identificação do coeficiente de perda de carga (utilizando a fórmula de Hazen-Williams (Tabela 3.2) para as 775 válvulas;
4. Designação, tipo de reservatório, cota piezométrica, área da célula, altura mínima, máxima e inicial dos quatro reservatórios.

Tabela 3.2: Valor de C para a fórmula de Hazen – Williams e para o valor do coeficiente de perda de carga singular para as válvulas (e.g., Marques e Sousa, 2008)

Material	C _{tabelado}	C _{utilizado}	D _{válvula (mm)}	Coefficiente de perda de carga singular
				utilizado
fibrocimento	120 a 140	120	60 a 63	0.208
ferro fundido	120 a 135	-	80 a 90	0.140
aço sem soldadura	110	-	100 a 110	0.140
aço soldado	120	-	125	0.110
betão liso	130	-	140 a 150	0.090
plástico	125 a 140	140	200	0.065

A verificação e introdução destes dados trouxe vários desafios e dificuldades, nomeadamente a sobreposição dos nós que ligavam cada válvula. Assim para cada válvula houve a necessidade de afastar um dos nós para a posição aproximada de modo a permitir as ligações da mesma. Em alguns casos, os nós das válvulas estavam ligados a troços errados obrigando a refazer o posicionamento dos nós e da válvula. Nestes casos, a cota e o posicionamento espacial foram sempre validados com a plataforma SIGREDES. Outro dos problemas detetados no desenho exportado foi a sobreposição de nós aos troços, sem que estivessem automaticamente ligados. Este erro de construção, quando não corrigido, não permite correr a simulação do modelo devido à não conectividade da rede em determinados troços. Este é um erro difícil de detecção e localização pois somente após a simulação do modelo e o subsequente relatório de erro é que pode ser identificado. A correção deste erro obriga, por vezes, a correr nó a nó, troço a troço, desde o ponto inicial de distribuição de água (montante para jusante) ou do ponto onde o caudal deixa de existir abruptamente. Esta componente do trabalho tem de ser feita com bastante detalhe, rigor e atenção. No caso particular deste trabalho, obrigou à realização de mais de três centenas de correções, de ligações inexistentes apesar da sobreposição, e mais de uma centena de tentativas de validação por parte do simulador, podendo caracterizar-se como um trabalho de enorme grau de complexidade e de elevada dispensa de tempo.

Componente 2 - Consumos e variações de pressão da rede de abastecimento

Relativamente à recolha dos dados observados a metodologia adoptada foi a criação de vinte pontos de recolha de dados de pressão, Figura 3.5, e a recolha dos caudais horários aduzidos à rede através dos reservatórios: Outeiro do Barro Velho, Moinho de Vento e Moinho de Vento

Elevado. Para obter dados que trouxessem robustez ao modelo optou-se por recolher dados de 20 em 20 minutos durante 72 horas.

Os pontos de análise com as sondas de pressão tiveram em conta o posicionamento da conduta de água, nomeadamente patamares altimétricos e as várias zonas de utilização de água (indústria, doméstico e comércio). Os pontos de monitorização foram escolhidos priorizando as seguintes condições: 1) colocação nos troços de maior diâmetro; 2) que abarcassem as condutas de macro-distribuição, quase com função de “adutora”; 3) troços de menor diâmetro; 4) a natureza das condutas, tendo ocorrido uma distribuição equilibrada de pontos entre as condutas em fibrocimento e PVC. Outra premissa importante foi saber, devido a trabalhos anteriores na melhoria da rede de distribuição, que a laboração de uma empresa, Cooperativa Agrícola de Reguengos de Monsaraz (CARMIM), provocava abruptas quebras de pressão em determinadas zonas da cidade. Para melhor entender a sua influência na rede, logo no modelo, foram colocados dois pontos de monitorização (um junto à CARMIM e outro num dos principais bairros habitacionais) onde a influência da laboração mais se faz sentir (pontos 17 e 18 identificados na Tabela 3.3 Figura 3.4 e Figura 3.5).

Tabela 3.3: Fichas de identificação dos pontos de monitorização de pressão na rede de abastecimento de Reguengos de Monsaraz

Localização	Urbanização do Carapetal	Nó	0479	N.º	1	N.º da sonda	3404827 (A)
Instalação início	02/05/18	Leituras início	04/05/2018 (00:00)	Leituras fim	10/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN110/ PN10
Localização	Urbanização de Monsaraz	Nó	031	N.º	2	N.º da sonda	3404810 (c)
Instalação início	02/05/2018	Leituras início	04/05/2018 (00:00)	Leituras fim	10/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN200/ PN10
Localização	Supermercado PD	Nó	0128	N.º	3	N.º da sonda	3404909 (D)
Instalação início	02/05/2018	Leituras início	04/05/2018 (00:00)	Leituras fim	10/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN110/ PN10
Localização	Urbanização Sá Carneiro	Nó	0359	N.º	4	N.º da sonda	3404868 (B)
Instalação início	02/05/2018	Leituras início	04/05/2018 (00:00)	Leituras fim	10/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento/ DN60/ Classe 18-24
Localização	Bairro António Sérgio	Nó	066	N.º	5	N.º da sonda	3404909 (D)
Instalação início	10/05/2018	Leituras início	11/05/2018 (00:00)	Leituras fim	17/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN75/ PN10

Localização	Parque da Cidade	Nó	083	N.º	6	N.º da sonda	3404810 (c)
Instalação início	10/05/2018	Leituras início	11/05/2018 (00:00)	Leituras fim	17/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PEAD/ DN90/ PN10
Localização	Zona Industrial - Perolivas	Nó	01001	N.º	7	N.º da sonda	3404827 (A)
Instalação início	10/05/2018	Leituras início	11/05/2018 (00:00)	Leituras fim	17/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN110/ PN10
Localização	Zona Industrial	Nó	01069	N.º	8	N.º da sonda	3404868 (B)
Instalação início	10/05/2018	Leituras início	11/05/2018 (00:00)	Leituras fim	17/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN110/ PN10
Localização	Rua de Mourão	Nó	02907	N.º	9	N.º da sonda	3404868 (B)
Instalação início	17/05/2018	Leituras início	18/05/2018 (00:00)	Leituras fim	24/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento/ DN80/ Classe 18-24
Localização	Rua Luís de Camões	Nó	02537	N.º	10	N.º da sonda	3404909 (D)
Instalação início	17/05/2018	Leituras início	18/05/2018 (00:00)	Leituras fim	24/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento/ DN60/ Classe 18-24
Localização	Praça de Santo António	Nó	02161	N.º	11	N.º da sonda	3404810 (C)
Instalação início	17/05/2018	Leituras início	18/05/2018 (00:00)	Leituras fim	24/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento/ DN60/ Classe 18-24
Localização	Praça da Liberdade	Nó	02414	N.º	12	N.º da sonda	3404827 (A)
Instalação início	17/05/2018	Leituras início	18/05/2018 (00:00)	Leituras fim	24/05/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN110/ PN10
Localização	Avenida Vitor Martelo	Nó	02652	N.º	13	N.º da sonda	3404868 (B)
Instalação início	30/05/2018	Leituras início	01/06/2018 (00:00)	Leituras fim	07/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN110/ PN10
Localização	Rua João de Deus	Nó	02609	N.º	14	N.º da sonda	3404827 (A)
Instalação início	30/05/2018	Leituras início	01/06/2018 (00:00)	Leituras fim	07/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento DN150/ Classe18-24
Localização	Rua de Lisboa	Nó	02558	N.º	15	N.º da sonda	3404810 (C)
Instalação início	30/05/2018	Leituras início	01/06/2018 (00:00)	Leituras fim	07/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento DN60/ Classe18-24
Localização	Urbanização Quinta Nova	Nó	02229	N.º	16	N.º da sonda	3404909 (D)
Instalação início	30/05/2018	Leituras início	01/06/2018 (00:00)	Leituras fim	07/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN90/ PN10
Localização	Urbanização Quinta da Luz	Nó	02278	N.º	17	N.º da sonda	3404810 (C)
Instalação início	13/06/2018	Leituras início	14/06/2018 (00:00)	Leituras fim	20/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN90/ PN10
Localização	Rua Professor Mota Pinto (TEAR)	Nó	02264	N.º	18	N.º da sonda	3404909 (D)
Instalação início	13/06/2018	Leituras início	14/06/2018 (00:00)	Leituras fim	20/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN90/ PN10
Localização	Rua dos Mendes	Nó	0754	N.º	19	N.º da sonda	3404868 (B)
Instalação início	13/06/2018	Leituras início	14/06/2018 (00:00)	Leituras fim	20/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	Fibrocimento/ DN60/ Classe 18-24
Localização	Zona dos Mendes	Nó	0733	N.º	20	N.º da sonda	3404827 (A)
Instalação início	13/06/2018	Leituras início	14/06/2018 (00:00)	Leituras fim	20/06/2018 (00:00)	Tipo de conduta	PVC/ DN63/ PN10



Figura 3.5: Instalação do *datalogger* nos 20 pontos de medição da pressão na rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz

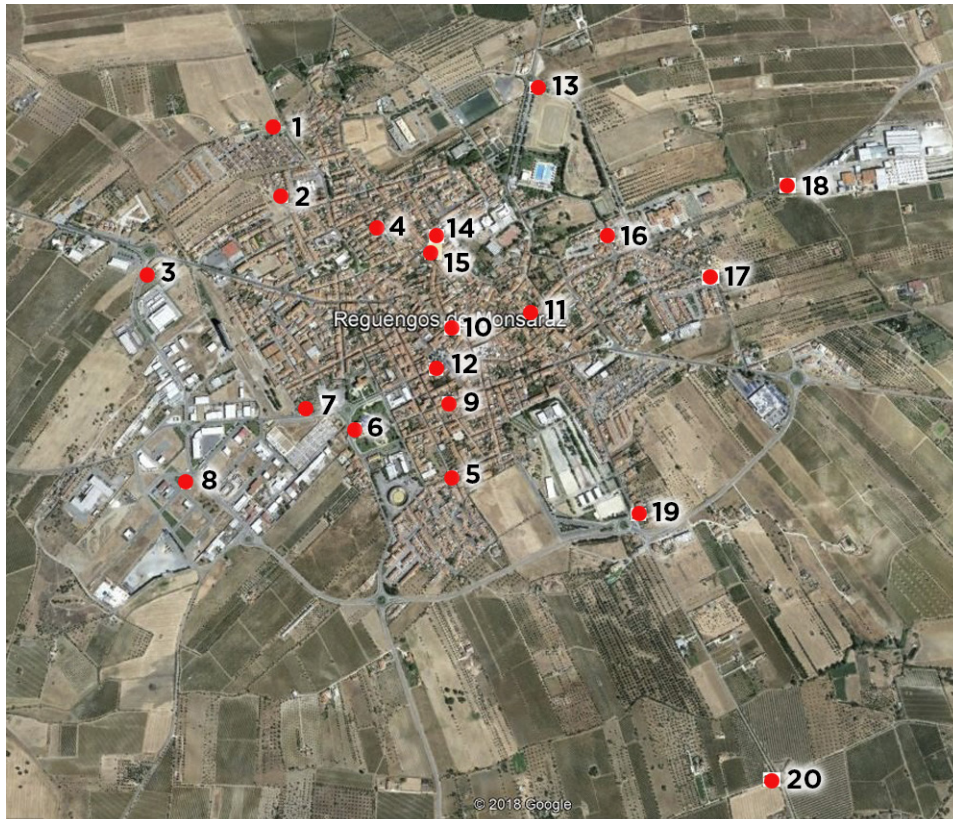


Figura 3.6: Localização dos 20 pontos de medição da pressão na rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz

Para a determinação dos consumos horários (m^3/h), registaram-se os consumos ou a água aduzida à rede nos pontos de saída dos reservatórios de 20 em 20 minutos. Em seguida calculou-se a média dos três caudais registados no espaço horário; este procedimento foi realizado para os três pontos de distribuição. Para os consumos diários somaram-se os consumos horários, apresentando-se os valores em m^3/h e em l/s . Com os consumos diários, calculou-se a média de 30 dias e considerou-se esse o valor global de consumo distribuído por todos os nós do modelo.

Componente 3 - Tipo de consumidores e consumos base

Para a determinação e distribuição dos consumos base do modelo e para que o mesmo seja o mais fidedigno possível e demonstrativo da realidade existente na rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz houve a necessidade de criar três tipos de consumidores: Doméstico; Industrial e Grande Consumidor. As metodologias utilizadas para criar um consumo base para cada categoria foram as seguintes:

- Consumidor Doméstico – para o cálculo deste valor utilizaram-se os dados da plataforma de faturação do Município de Reguengos de Monsaraz. Foram analisados e escolhidos os consumos mensais e anuais de 29 habitações no Bairro António Sérgio. Com isto, foi calculado o consumo médio diário por habitação e com a estatística dos censos 2011 de 2.3 pessoas por habitação caracterizou-se o consumo diário por habitante tipo (150 l/hab-dia). Por fim, e com a utilização de uma regra de três simples entre o número de habitações existentes em cada bairro e o número de nós, foi afinado e identificado o consumo base de cada nó em cada bairro.

Os bairros escolhidos, Figura 3.7, ou áreas residenciais escolhidas, para o carregamento pontual do modelo foram: Bairro António Sérgio, Bairro Padre Américo, Bairro de São Pedro, Bairro de São José, Bairro de São Marcos, Bairro da Figueirinha, Urbanização João Paulo II, Urbanização Quinta da Luz, Urbanização Tapada do Carapetal, Urbanização Tapada das Cegonheiras, Urbanização José Saramago, Urbanização Rotunda do Sol, Urbanização Zona Norte, Aldeia de Cima, Praceta Sá Carneiro, Rua dos Mendes e Rua do Covalinho.



Figura 3.7: Localização dos bairros e ruas utilizados, a azul, para caracterização pontual de nós relativos ao consumo do tipo consumidor doméstico

- Consumidor Industrial – para o cálculo deste consumo base analisou-se o consumo mensal e anual de uma indústria tipo (oficina mecânica). Feita a média do consumo desta indústria calculou-se o número de indústrias existentes na Zona Industrial de Reguengos de Monsaraz e, utilizando também a regra de três simples, calculou-se o consumo base para cada nó da zona industrial.
- Grandes Consumidores – através da mesma plataforma de faturação verificaram-se três unidades de elevado consumo, dois consumidores autorizados e faturados e um consumidor não faturado mas autorizado. Representam, respetivamente, a CARMIM, o matadouro “Maporal” e o Parque da Cidade (jardim público). Nestes três casos analisaram-se os respetivos consumos mensais e anuais e procedeu-se ao cálculo da média do consumo anual para determinar o consumo base do nó mais próximo de cada consumidor. Relativamente aos grandes consumidores, apesar de volumes de água consumidos menores, realizaram-se os mesmos cálculos ainda para as quatro grandes superfícies comerciais existentes na cidade: Pingo Doce, Intermarché, Continente e Lidl; e ainda os bombeiros, a escola secundária, a escola EB2/3 e o pavilhão desportivo municipal. No total consideraram-se onze grandes consumidores.

A distribuição dos consumos base consistiu na priorização acima referida: 1º) zona industrial; 2º) grandes consumidores; 3º) consumidores domésticos. Carregado o modelo em cada fase da simulação, foram analisados os dados da velocidade de escoamento, perdas de carga em cada troço, e a pressão e o consumo em cada nó. Por último somaram-se os consumos base da priorização acima referida e, com diferença relativamente ao consumo médio diário da cidade, efectuou-se uma distribuição equitativa pelos nós sobrantes do modelo (Tabela 3.4).

Tabela 3.4: Consumos base calculados e distribuídos

Localização	Consumos utilizados (l/s)	Localização	Consumos utilizados (l/s)
Br. António Sérgio	0.49	Praceta Sá Carneiro	0.08
Urb. João Paulo II	0.16	Zona Industrial	0.53
Urb. São Marcos	0.10	Urb. Zona Norte	0.15
Br. São João	0.41	Supermercado Int.	0.04
Urb. Quinta da Luz	0.19	Supermercado PD	0.06
Urb. Carapetal	0.40	Supermercado L	0.09
Urb. Tapada das Cegonhaças	0.40	Supermercado C	0.07
Urb. Saramago	0.22	Matadouro	0.82
Urb. Rotunda do Sol	0.12	CARMIM	2.32
P. Américo + São Pedro + São José	0.26	Parque da Cidade	0.22
Rua do Covalinho	0.16	Escola Secundária	0.05
Br. da Figueirinha	0.16	EB 23	0.06
Aldeia de Cima	0.44	Pavilhão Municipal	0.09
Rua dos Mendes	0.37	Bombeiros	0.09
Perolivas	1.80	Resto da cidade	4.53
TOTAL	14.39		

3.3 Tratamento de dados

Com a metodologia explanada no subcapítulo anterior, irão colocar-se, agora, em evidência os dados tratados para posterior carregamento do modelo a simular.

3.3.1 Dados de consumos

Relativamente à determinação dos consumos efetivos em Reguengos de Monsaraz, foi utilizado o sistema de telegestão (SCADA) de onde foram extraídos os caudais aduzidos à cidade. Para isso, foram medidos os caudais de saída dos reservatórios: Outeiro do Barro Velho, Moinho de Vento e Moinho de Vento Elevado, de 20 em 20 minutos, durante os 30 dias de campanha. Com três medições horárias foi calculado o consumo médio horário em cada um dos três pontos de medição, obtendo-se os seguintes dados:

1. Os consumos horários totais (traduzidos nas Figuras 3.8 e 3.9);
2. Os consumos diários totais (traduzido na Tabela 3.5);
3. O consumo médio total de Reguengos de Monsaraz (14.39 l/s).

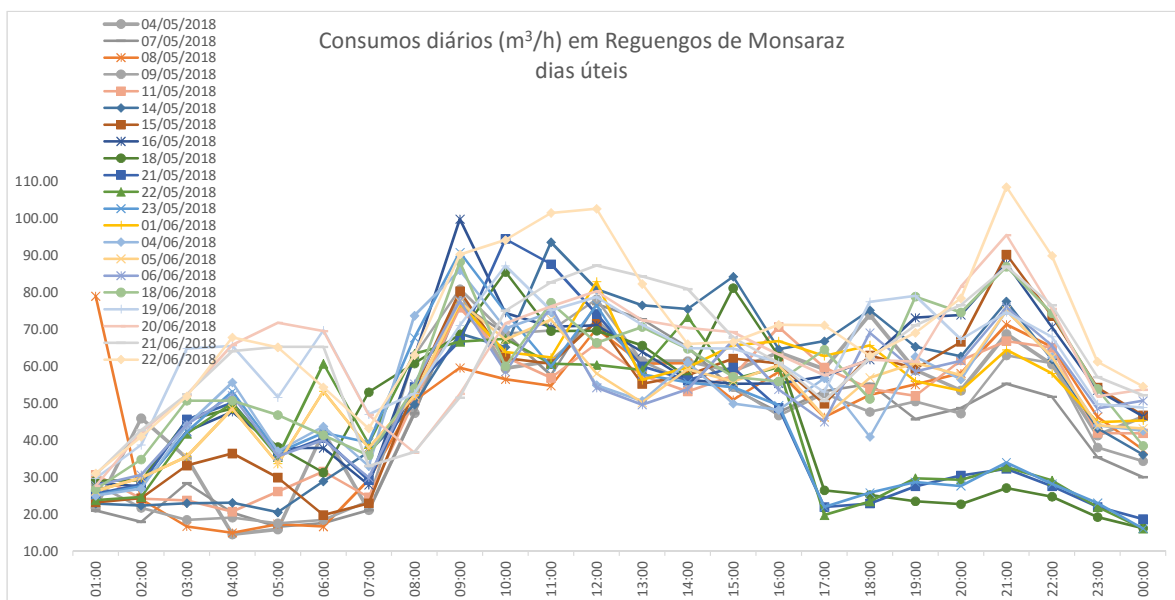


Figura 3.8: Consumos diários em Reguengos de Monsaraz (dias úteis)

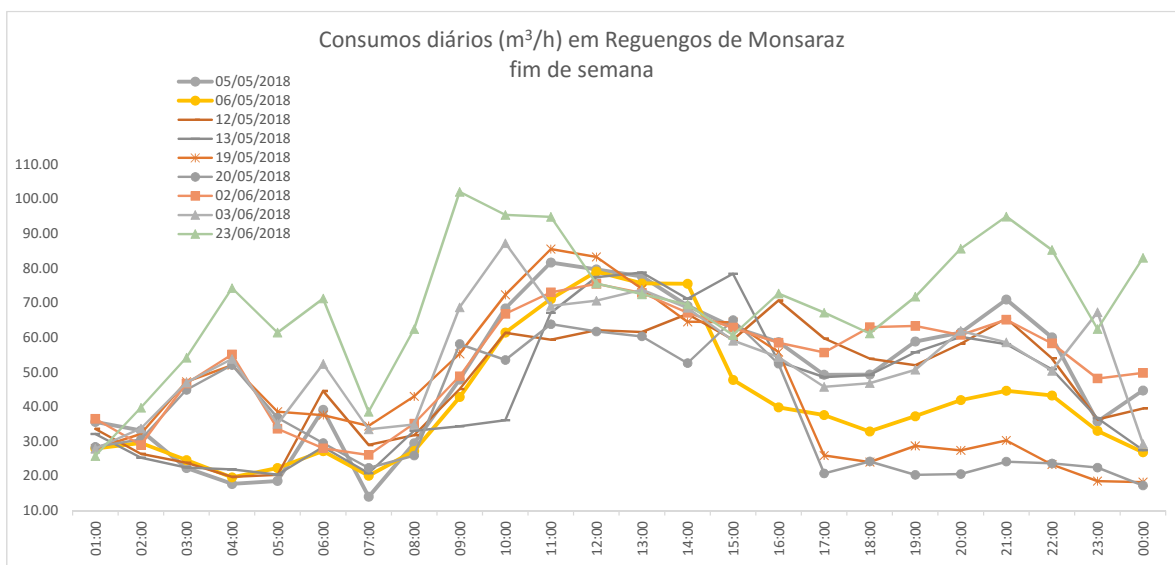


Figura 3.9: Consumos diários em Reguengos de Monsaraz (fins de semana)

Tabela 3.5: Consumos diários medidos em Reguengos de Monsaraz durante a campanha de monitorização

Dias	Consumo Total diário (m ³ /dia)	Dias	Consumo Total diário (l/s)
04/05/2018	1223.73	04/05/2018	14.16
05/05/2018	1185.44	05/05/2018	13.72
06/05/2018	988.35	06/05/2018	11.44
07/05/2018	1084.27	07/05/2018	12.55
08/05/2018	1151.65	08/05/2018	13.33
09/05/2018	1118.43	09/05/2018	12.94
11/05/2018	1174.43	11/05/2018	13.59
12/05/2018	1134.10	12/05/2018	13.13
13/05/2018	1086.95	13/05/2018	12.58
14/05/2018	1324.38	14/05/2018	15.33
15/05/2018	1257.53	15/05/2018	14.55
16/05/2018	1383.03	16/05/2018	16.01
18/05/2018	1079.27	18/05/2018	12.49
19/05/2018	1063.88	19/05/2018	12.31
20/05/2018	910.88	20/05/2018	10.54
21/05/2018	1059.42	21/05/2018	12.26
22/05/2018	1043.42	22/05/2018	12.08
23/05/2018	1057.48	23/05/2018	12.24
01/06/2018	1301.48	01/06/2018	15.06
02/06/2018	1279.07	02/06/2018	14.80
03/06/2018	1279.57	03/06/2018	14.81
04/06/2018	1274.65	04/06/2018	14.75
05/06/2018	1263.65	05/06/2018	14.63
06/06/2018	1280.57	06/06/2018	14.82
18/06/2018	1403.55	18/06/2018	16.24
19/06/2018	1511.43	19/06/2018	17.49
20/06/2018	1507.00	20/06/2018	17.44
21/06/2018	1513.63	21/06/2018	17.52
22/06/2018	1687.37	22/06/2018	19.53
23/06/2018	1681.40	23/06/2018	19.46

Relativamente aos consumos horários, podemos verificar que os padrões são bastante similares nos 30 dias analisados. Existem cinco picos de consumos durante as 24 horas de ensaio, dos quais apenas um difere entre dias de semana úteis e o fim de semana. Assim sendo são verificados picos de consumos, nos dias de semana, às 4:00, 6:00, 9:00, 15:00 e 21:00. Nos ensaios efetuados aos fins de semana verificam-se os picos de consumo às 4:00, 6:00, 10:00, 15:00 e 21:00, contudo as curvas de consumo iniciam-se dentro do mesmo espaço temporal, com ligeiros desfasamentos pontuais, nos dias de semana em comparação com os fins de semana. Relativamente aos consumos na rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz foi verificado o seu mínimo com 14.00 m³/h (fim de semana) e o seu máximo com 108.53 m³/h (semana). Relativamente aos consumos diários podemos verificar a média de 1271.45 m³/dia durante a semana e de 1178.75 m³/dia ao fim de semana, confirmando, o já verificado nos padrões de consumos, que a cidade de Reguengos de Monsaraz não tem, na sua malha urbana, grande número de grandes consumidores e de indústrias, sendo a sua maioria dos consumidores domésticos ou pequeno comércio. Assim,

a variação dos consumos é pouco acentuada, regular ao longo do tempo e estabilizada, não existindo quase variações nos padrões de consumo entre dias úteis e aos fins de semana.

3.3.2 Dados de pressão

Os resultados obtidos nos 20 pontos de medição, escolhidos durante a campanha, mostraram uma grande estabilidade da pressão de serviço na rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, sendo estes fatos apresentados nas Tabelas 3.6 e 3.7 para os 30 dias de medições. Também estão expostos os gráficos comparativos em cada uma das campanhas de medições para as pressões médias horárias para os 30 dias de medições (campanha 1: 4/5/2018 a 9/5/2018; campanha 2: 11/5/2018 a 16/5/2018; campanha 3: 18/5/2018 a 23/5/2018; campanha 4: 1/6/2018 a 6/6/2018; campanha 5: 18/6/2018 a 23/6/2018) para as pressões médias horárias na Figura 3.10. Relativamente ao ponto de monitorização da Rua dos Mendes houve a necessidade de somente usar três dos seis dias de médias horárias devido a um problema de leitura do *datalogger*. Caso não se tivesse realizado esta correção a média teria, neste ponto, dado cerca de 1.00 a 1.50 bar acima da pressão real e comprometeria o modelo hidráulico neste ponto.

Os gráficos e tabelas relativos às pressões médias horárias vêm demonstrar uma tendência já verificada nos consumos horários, a enorme estabilização durante o dia, o que claramente vem demonstrar dois fatos: 1) uma rede, ainda hoje suficiente para abastecer a população residente de 7261 habitantes; 2) poucas solicitações de indústrias ou grandes consumidores. Mesmo nos horários de maiores picos de consumo (4:00, 6:00, 9:00, 15:00 e 21:00), por exemplo durante a semana, as pressões mantêm-se entre os 2.00 e 3.50 bar e entre os 2.50 e 5.20 bar, consoante o ponto de medição e a sua diferença de cotas, entre a cota piezometria no reservatório e a cota da conduta.

Tabela 3.6: Pressões Médias Horárias Medidas (dias úteis)

Local	Designação do No	Pressão Horária Médida (Bar)																							
		00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Carapetal	0479	3.37	3.38	3.38	3.40	3.40	3.41	3.41	3.41	3.38	3.38	3.37	3.38	3.34	3.36	3.36	3.38	3.36	3.35	3.35	3.36	3.36	3.32	3.34	3.37
	01028	2.89	3.00	3.00	3.02	3.02	3.02	3.03	3.03	3.03	3.01	2.99	2.98	2.97	2.99	2.99	3.01	2.99	2.97	2.98	2.97	2.98	2.97	2.92	2.96
	0359	3.37	3.38	3.40	3.40	3.41	3.41	3.41	3.41	3.38	3.38	3.37	3.38	3.34	3.36	3.36	3.38	3.36	3.35	3.35	3.36	3.36	3.32	3.34	3.37
Praça Stº Carmeiro	0391	2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.17	2.17	2.16	2.15	2.15	2.14	2.14	2.11	2.11	2.13	2.13	2.13	2.11	2.12	2.12	2.11	2.08	2.10	
	066	2.96	2.98	2.97	2.99	3.00	3.00	3.00	3.00	2.98	2.98	2.97	2.97	2.94	2.95	2.96	2.97	2.96	2.94	2.95	2.95	2.94	2.91	2.93	
	083	3.42	3.39	3.42	3.39	3.45	3.42	3.36	3.13	3.13	3.13	3.17	3.19	3.32	3.24	3.27	3.18	3.26	3.35	3.31	3.36	3.25	3.25	3.32	
Brº António Sérgio	01001	2.69	2.69	2.72	2.71	2.72	2.72	2.72	2.71	2.64	2.66	2.63	2.64	2.63	2.65	2.65	2.64	2.65	2.63	2.63	2.64	2.63	2.63	2.66	
	00652	3.49	3.52	3.53	3.53	3.54	3.54	3.55	3.53	3.46	3.45	3.45	3.44	3.44	3.46	3.45	3.43	3.45	3.44	3.45	3.45	3.46	3.44	3.48	
	02077	1.95	1.95	1.94	1.93	1.95	1.92	1.94	1.93	1.89	1.86	1.89	1.88	1.91	1.91	1.91	1.91	1.93	1.92	1.95	1.93	1.90	1.89	1.95	
Zona Industrial (Perifóvica)	02077	2.79	2.79	2.75	2.72	2.78	2.69	2.76	2.76	2.66	2.58	2.64	2.58	2.68	2.69	2.70	2.68	2.71	2.69	2.75	2.72	2.65	2.62	2.77	
	02161	2.49	2.49	2.44	2.40	2.47	2.36	2.47	2.47	2.33	2.25	2.34	2.28	2.41	2.40	2.40	2.36	2.39	2.39	2.44	2.41	2.35	2.31	2.47	
	02414	3.40	3.41	3.36	3.37	3.39	3.35	3.39	3.38	3.31	3.26	3.31	3.28	3.34	3.34	3.33	3.33	3.39	3.40	3.45	3.40	3.32	3.29	3.39	
Praça da Liberdade	00652	3.89	3.87	3.75	3.76	3.81	3.28	3.78	3.82	3.29	3.64	3.25	3.53	3.78	3.71	3.66	3.69	3.39	3.40	3.45	3.66	3.73	3.55	3.46	
	02558	2.85	2.83	2.77	2.78	2.82	2.66	2.83	2.80	2.55	2.68	2.52	2.61	2.75	2.68	2.69	2.61	2.63	2.60	2.70	2.72	2.62	2.60	2.75	
	02029	3.80	3.76	3.59	3.60	3.68	3.13	3.65	3.72	3.11	3.52	3.09	3.39	3.53	3.45	3.47	3.38	3.20	3.40	3.44	2.48	2.50	2.39	2.53	
Av. Vitor Manuel	02278	3.81	3.66	3.08	3.32	3.15	2.86	3.67	3.68	3.22	3.13	2.97	3.38	3.42	3.65	3.63	3.55	3.23	3.38	3.30	3.52	3.18	3.03	3.60	
	02264	4.52	4.34	3.47	4.23	3.97	3.60	4.37	4.42	3.65	3.57	3.12	3.62	3.87	4.36	4.34	4.24	4.03	3.79	3.35	4.26	3.92	3.74	4.33	
	0754	2.00	2.45	3.16	3.28	2.81	3.32	3.32	3.33	3.43	3.46	3.38	3.50	3.39	3.19	3.17	3.17	3.45	3.51	3.44	3.50	2.25	1.92	2.32	
Zona dos Mendes	0733	5.34	5.32	4.15	3.80	4.15	4.65	4.78	4.91	5.20	5.12	4.99	4.48	5.21	5.29	5.27	5.11	5.10	5.21	5.10	4.95	5.01	4.89	5.25	

Tabela 3.7: Pressões Médias Horárias (fins de semana)

Local	Designação do No	Pressão Horária Médida (Bar)																							
		00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Carapetal	0479	3.39	3.40	3.37	3.37	3.38	3.37	3.38	3.38	3.38	3.34	3.33	3.35	3.35	3.34	3.34	3.35	3.36	3.34	3.35	3.35	3.32	3.34	3.37	
	01028	3.03	3.02	3.01	3.01	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	2.98	2.91	2.96	2.96	2.97	2.97	3.01	2.97	2.97	2.96	2.98	2.95	3.00	
	0391	3.39	3.40	3.39	3.39	3.41	3.41	3.42	3.41	3.39	3.35	3.33	3.34	3.34	3.33	3.34	3.35	3.37	3.37	3.35	3.35	3.35	3.35	3.38	
Praça Stº Carmeiro	0391	2.15	2.16	2.15	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17	2.15	2.11	2.08	2.09	2.11	2.09	2.12	2.10	2.12	2.11	2.13	2.10	2.11	2.10	2.14	
	066	3.15	3.13	3.01	3.00	3.06	3.14	3.15	3.08	3.11	3.11	3.08	3.07	3.08	3.09	3.10	3.10	3.13	3.10	3.10	3.10	3.11	3.10	3.13	
	083	3.63	3.43	3.10	2.96	3.35	3.65	3.65	3.57	3.55	3.60	3.50	3.15	3.42	3.55	3.53	3.49	3.61	3.58	3.47	3.50	3.58	3.53	3.61	
Brº António Sérgio	01001	2.67	2.69	2.72	2.72	2.71	2.73	2.70	2.72	2.71	2.68	2.66	2.62	2.63	2.61	2.66	2.66	2.70	2.63	2.67	2.64	2.65	2.66	2.70	
	00652	3.48	3.51	3.53	3.53	3.52	3.54	3.52	3.53	3.52	3.50	3.47	3.41	3.43	3.41	3.47	3.48	3.51	3.51	3.48	3.44	3.44	3.47	3.52	
	02077	1.98	1.98	1.96	1.95	1.97	1.95	1.98	1.98	1.96	1.95	1.93	1.94	1.93	1.94	1.93	1.92	1.91	1.91	1.90	1.91	1.90	1.91	1.94	
Zona Industrial (Perifóvica)	02077	2.82	2.81	2.76	2.74	2.79	2.74	2.81	2.82	2.73	2.75	2.72	2.70	2.74	2.69	2.72	2.72	2.70	2.69	2.70	2.69	2.68	2.71	2.76	
	02161	2.51	2.51	2.45	2.41	2.49	2.41	2.52	2.53	2.46	2.44	2.40	2.41	2.42	2.41	2.44	2.44	2.41	2.41	2.41	2.42	2.40	2.39	2.47	
	02414	3.43	3.43	3.40	3.39	3.42	3.37	3.44	3.44	3.39	3.39	3.34	3.34	3.37	3.36	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	3.35	3.31	3.34	3.39	
Praça da Liberdade	00652	3.72	3.85	3.71	3.70	3.79	3.41	3.61	3.87	3.51	3.09	3.69	3.67	3.68	3.71	3.76	3.75	3.79	3.80	3.73	3.75	3.62	3.63	3.85	
	02069	2.78	2.81	2.79	2.74	2.80	2.69	2.77	2.83	2.71	2.49	2.69	2.66	2.66	2.70	2.74	2.77	2.74	2.76	2.74	2.75	2.69	2.70	2.81	
	02558	2.96	2.99	2.51	2.52	2.57	2.46	2.55	2.61	2.49	2.27	2.46	2.44	2.46	2.48	2.53	2.51	2.54	2.56	2.53	2.53	2.47	2.48	2.59	
Av. Vitor Manuel	02278	3.59	3.74	3.58	3.56	3.65	3.27	3.48	3.75	3.37	2.91	3.56	3.54	3.57	3.49	3.65	3.64	3.67	3.60	3.62	3.48	3.52	3.75	3.61	
	02278	3.80	3.66	3.26	3.25	2.79	3.53	3.53	3.81	3.72	3.16	3.63	3.33	3.51	3.49	3.10	3.52	3.69	3.53	3.65	3.49	3.18	3.21	3.72	
	02264	4.52	4.36	3.91	4.14	3.60	3.23	4.18	4.52	4.41	3.85	4.32	4.13	4.27	4.17	3.77	4.20	4.45	4.23	4.36	4.22	3.90	3.98	4.43	
Zona dos Mendes	0754	2.00	2.45	3.16	3.28	2.81	3.32	3.32	3.33	3.43	3.46	3.38	3.50	3.39	3.19	3.17	3.17	3.45	3.51	3.44	3.50	2.25	1.92	2.32	
	0733	5.28	5.40	4.09	3.79	4.16	4.48	4.78	4.67	5.39	5.25	4.97	5.10	5.14	5.02	5.19	5.11	5.27	5.18	5.15	4.99	4.92	5.00	5.23	

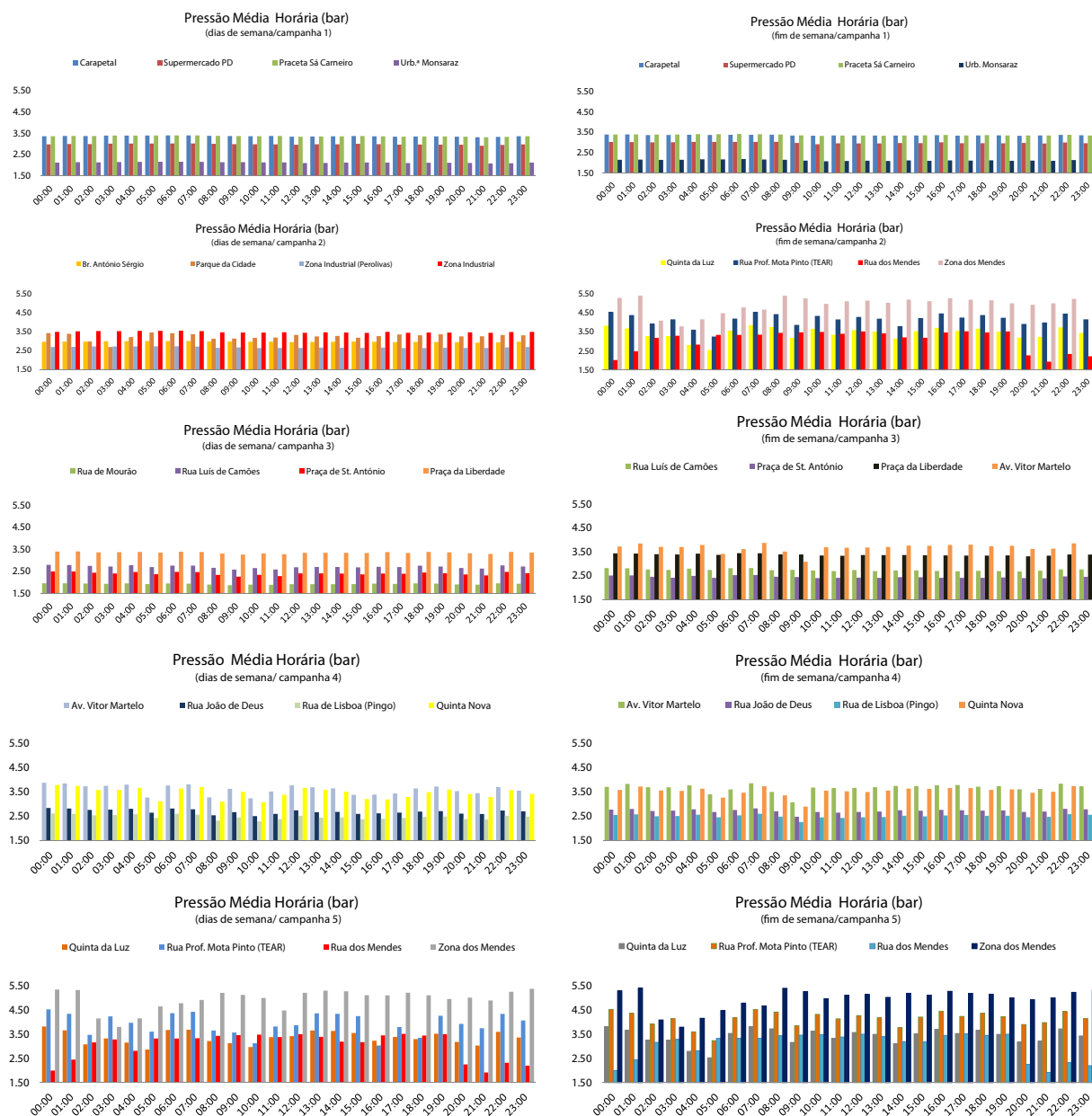


Figura 3.10: Gráficos comparativos das pressões médias horárias entre dias de semana e fins de semana para as cinco campanhas de medições

Conforme explicado no Capítulo 3, foram escolhidos dois pontos de medição que permitiriam perceber a influência direta do grande consumidor CARMIM numa determinada zona da rede de distribuição de água. O gráfico exposto na Figura 3.10 e Figura 3.11 permitem verificar o grande impacto que a laboração da CARMIM provoca na sua zona envolvente, verificando-se quebras na pressão superiores a 1.00 bar em cinco momentos, nomeadamente às 2:00, 5:00, 10:00, 16:00 e 18:00. O período das 00:00 serve como ponto de comparação para com os

outros horários. Com o carregamento e calibração do modelo hidráulico no EPANET 2.0 poderemos corroborar esta análise primária com a verificação adicional das perdas de carga e das velocidades de escoamento nas condutas de água, conforme explanado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Variação das pressões observadas nos períodos de maior consumo

Pontos de monitorização	Nó	0:00	4:00	6:00	9:00	15:00	21:00
Carapetal	0479	3.37	3.40	3.41	3.38	3.38	3.32
Pingo Doce	01028	2.99	3.02	3.03	2.99	3.01	2.92
Praceta Sá Carneiro	0359	3.37	3.40	3.41	3.38	3.38	3.32
Urb. Monsaraz	031	2.13	2.16	2.17	2.15	2.13	2.08
Br. António Sérgio	066	2.96	3.00	3.00	2.98	2.97	2.91
Parque da Cidade	083	3.42	3.21	3.42	3.13	3.18	3.25
Zona Industrial (Per.)	01001	2.69	2.72	2.72	2.66	2.64	2.63
Zona Industrial	01070	3.49	3.54	3.55	3.45	3.43	3.44
Rua de Mourão	02907	1.95	1.95	1.94	1.86	1.91	1.89
Rua Luís de Camões	02537	2.79	2.78	2.76	2.58	2.68	2.62
Praça de St.º António	02161	2.49	2.47	2.47	2.25	2.36	2.31
Praça da Liberdade	02414	3.40	3.39	3.39	3.26	3.33	3.29
Av. Vitor Martelo	02652	3.89	3.81	3.78	3.64	3.39	3.46
Rua João de Deus	02609	2.85	2.82	2.83	2.68	2.61	2.60
Rua de Lisboa (Pingo)	02558	2.63	2.60	2.61	2.46	2.38	2.38
Quinta Nova	02229	3.80	3.68	3.65	3.52	3.22	3.30
Quinta da Luz	02278	3.81	3.15	3.67	3.13	3.55	3.03
Rua Prof. Mota Pinto (TEAR)	02264	4.52	3.97	4.37	3.57	4.24	3.74
Rua dos Mendes	0754	3.00	4.29	4.33	4.48	4.09	3.23
Zona dos Mendes	0733	5.34	4.15	4.78	5.12	5.11	4.89

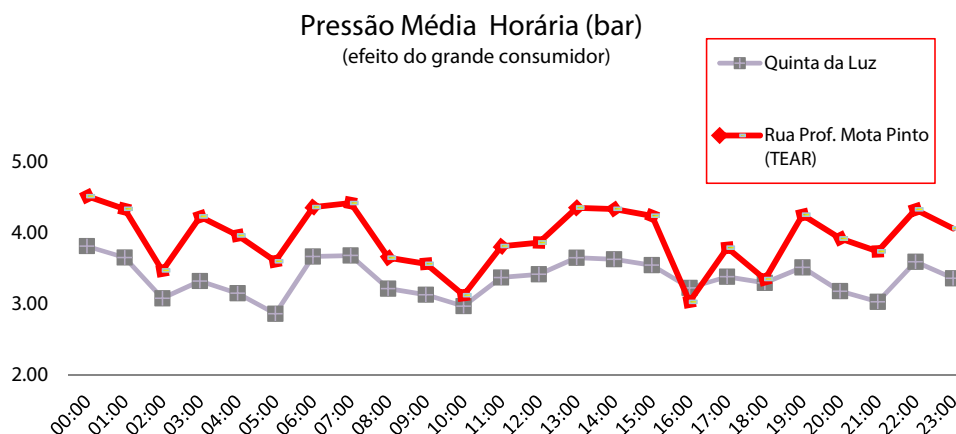


Figura 3.11: Variação da pressão horária para os nós 02278 (Quinta da Luz) e 02264 (Rua Prof. Mota Pinto)

3.3.3 Padrões de consumo

Na tentativa de criar um modelo o mais próximo do real, para além dos consumos base introduzidos em todos os nós para o modelo hidráulico, foi dada alguma relevância às várias pontas dos consumos, assim como as suas origens ou tipologias de consumidores. De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto e tendo em atenção a fórmula apresentada para o fator de ponta instantâneo:

$$F_p = 2 + 70/\sqrt{(\text{Pop})} \text{ (Eq. 10)}$$

onde Pop é a população a abastecer e tendo em conta que a cidade de Reguengos de Monsaraz tem de acordo com os Censos 2011, 7261 habitantes, o valor, caso não existissem dados de consumos e pressão na rede, do F_p poderia ser considerado de 2.80, ou seja, até 2.8 vezes o consumo base. No presente caso, e de acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, como existiam dados, criaram-se quatro padrões de consumos, de acordo com a sua representatividade, denominados como: 1) consumidores domésticos, 2) indústria, 3) grande consumidor, 4) parque da cidade (espaço verde de lazer) representados na Figura 3.12.

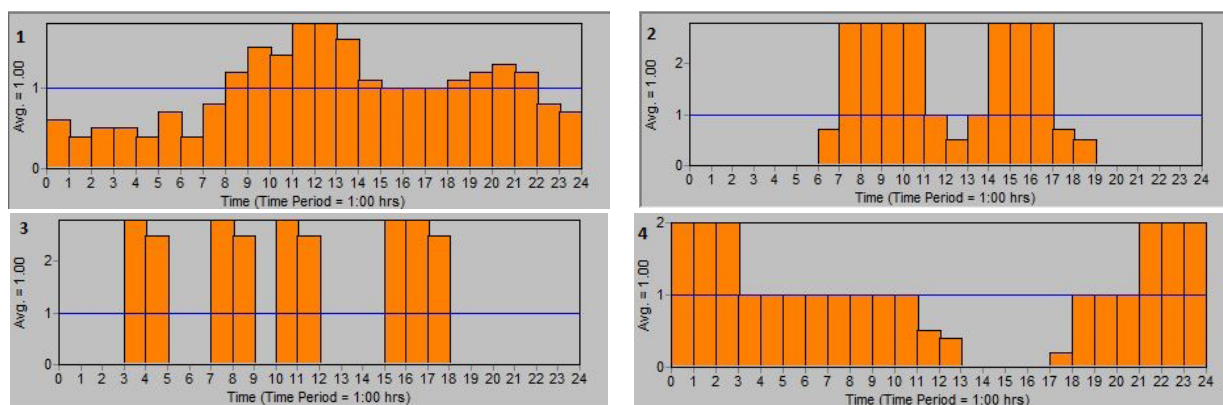
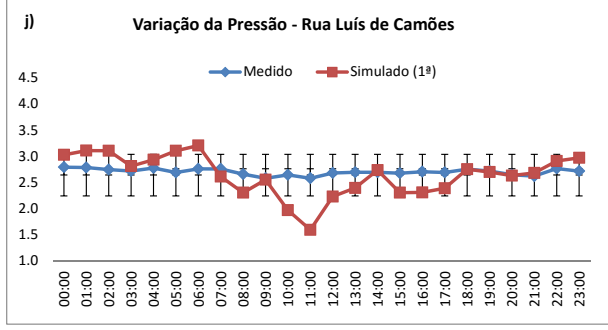
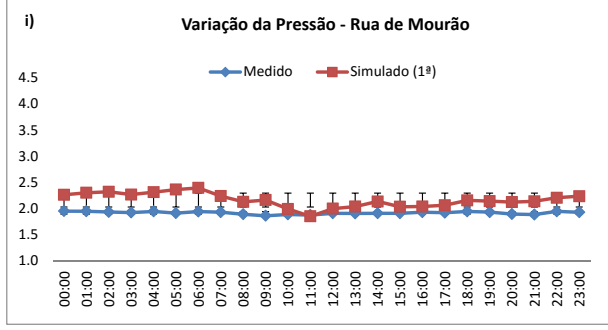
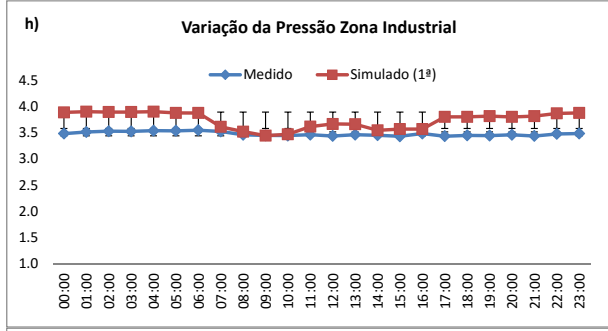
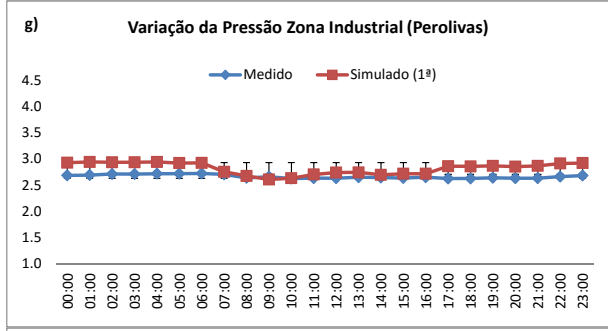
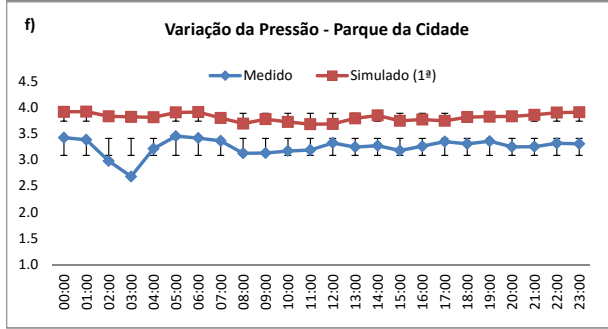
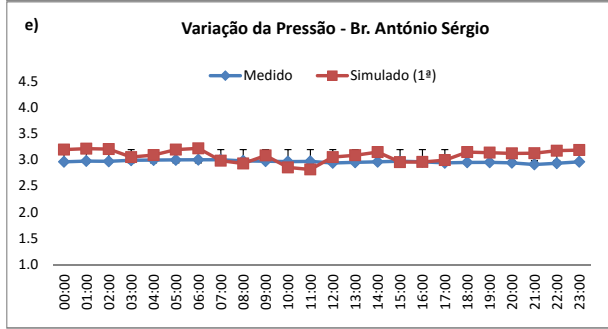
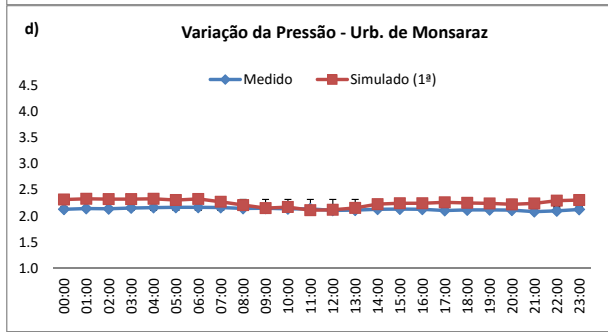
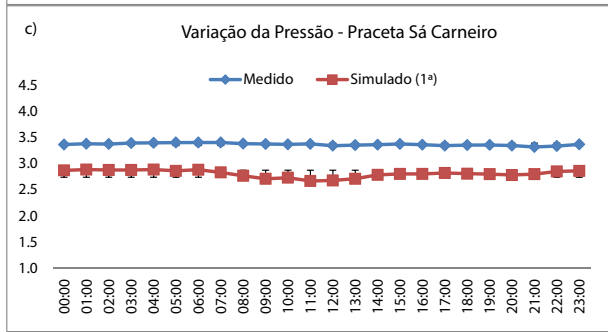
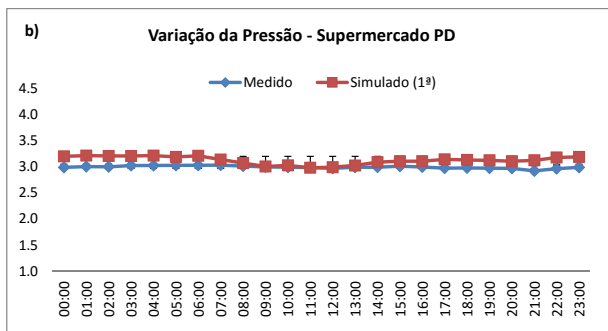
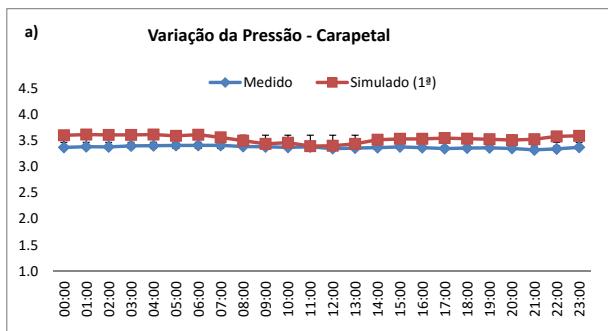


Figura 3.12: Padrões de consumo criados para o modelo hidráulico (1 – consumidores domésticos; 2 – indústria; 3 – grande consumidor; 4 – parque da cidade)

3.4 Calibração do modelo

Para a calibração do modelo hidráulico existem dois dados importantes de verificação: a pressão nos nós e a rugosidade dos tubos das condutas. Este último influenciará também a velocidade de escoamento do líquido na conduta. Desta forma, e após o carregamento dos dados e verificação da integridade física do desenho, procedeu-se à simulação com o EPANET 2.0. A verificação dos dados e a calibração do modelo exigem um elevado conhecimento técnico e científico, em termos de hidráulica, para que se analisem os resultados adequadamente e se façam as corretas leituras do modelo. Assim e para a calibração houve a necessidade de verificar os nós e troços de conduta a montante e jusante dos pontos a calibrar, perceber a influência das rugosidades, aperfeiçoando-as quando necessário, analisando perdas de carga nos troços e as velocidades de escoamento, para além de se ter de voltar a analisar padrões de consumo, as médias horárias das pressões registadas e cotas, em suma, um trabalho de grande complexidade. Após o modelo não apresentar qualquer problema hidráulico, é apresentada uma série de dados importantes, quer para os nós quer para as condutas, nomeadamente: cota, consumo base, qualidade inicial da água, consumo, carga hidráulica, pressão para os nós e comprimento, rugosidade, caudal, velocidade de escoamento, perdas de carga, fator de resistência e o estado do troço para as condutas. Neste caso e para calibração do modelo, como só foi possível verificar os valores de pressão em vinte pontos de monitorização, apresentam-se de seguida na Figura 3.13 os valores de pressão simulados no modelo e medidos com as sondas de pressão.



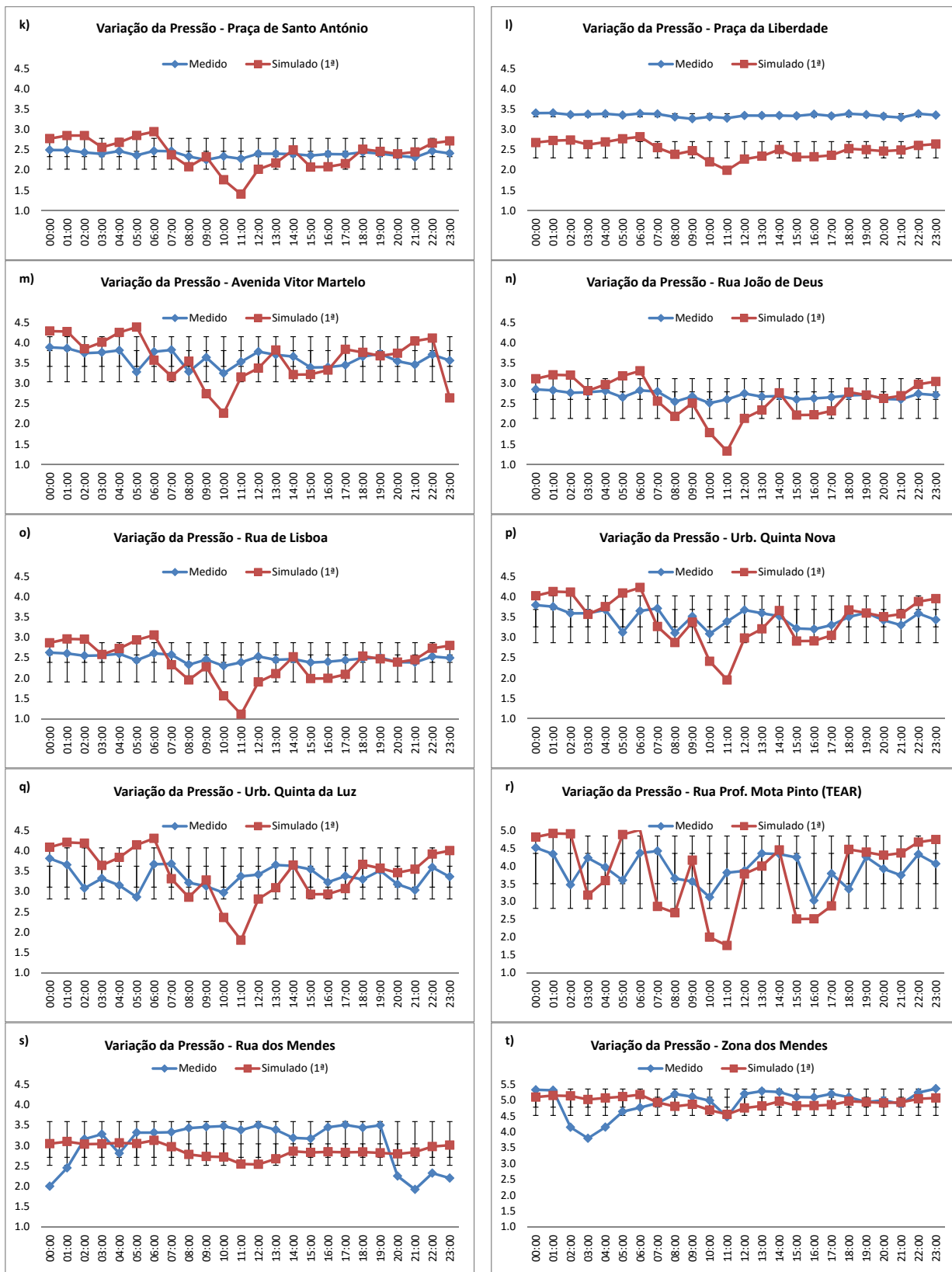


Figura 3.13: Gráficos comparativos entre as pressões medidas e simuladas (pré-calibração)

Através dos gráficos apresentados na Figura 3.13 pode verifica-se que na maior parte dos casos os pontos medidos e simulados estão com correlações acima dos 90%, como por exemplo os gráficos a), b), d), e), f), h), i), k), m), n), o), p) e r).

É possível ainda analisar na Tabela 3.9 os valores dos quocientes relativos aos gráficos da Figura 3.13, onde são apresentados os valores dos quocientes, entre a pressão simulada e pressão medida, antes da calibração (quociente inicial) e após a calibração (quociente após calibração), e assim perceber as melhorias efetuadas.

Analisando a Tabela 3.9, as maiores disparidades foram verificadas nos pontos de medição: Praceta Sá Carneiro (17%), Parque da Cidade (18%), Rua de Mourão (13%) e Praça da Liberdade (25%). Numa primeira análise conseguiu perceber-se a elevada robustez dos dados levantados assim como o alto rigor topológico e geoespacial que a plataforma do Alentejo Central – SIGREDES possui, pois numa primeira análise somente é necessário calibrar o modelo em quatro pontos, sendo que todos os outros pontos estão com um erro de $\pm 0\%$ a 5% . Para a calibração dos pontos foram adotados dois tipos de abordagem: a) a alteração dos consumos no ponto de monitorização e nós envolventes; b) a alteração da rugosidade das condutas.

Para a situação na Praceta Sá Carneiro, ver Tabela 3.9, foram utilizadas as duas soluções na tentativa de aproximar o registo das pressões horárias entre o simulado e o registado. Assim e após várias simulações considerou-se adequado a redução do caudal nos nós 0355, 0361, 0359, 0364 e 0370. Com esta redução obtiveram-se pequenos ajustes, conforme Figura 3.14, através de um pequeno aumento da pressão nos nós, que à partida pareceriam pouco significativos (1%), conforme apresentado na Tabela 3.9. Este foi o melhor resultado observado pois com a redução da rugosidade nas condutas de toda a praceta o erro aumentou, por consequência da redução da pressão nos nós. No sentido inverso, o aumento da rugosidade na conduta não alterou a pressão. Reduzindo significativamente os caudais nos nós da Praceta Sá Carneiro, Rua de Macau, Rua da Cruz Vermelha e Largo do Poço do Príncipe para consumos residuais, num total de 29 nós, a redução de pressão não foi para além dos 0.03 bar o que face às alterações iniciais não traria qualquer benefício ao modelo, assumindo-se portanto o erro de 16%.

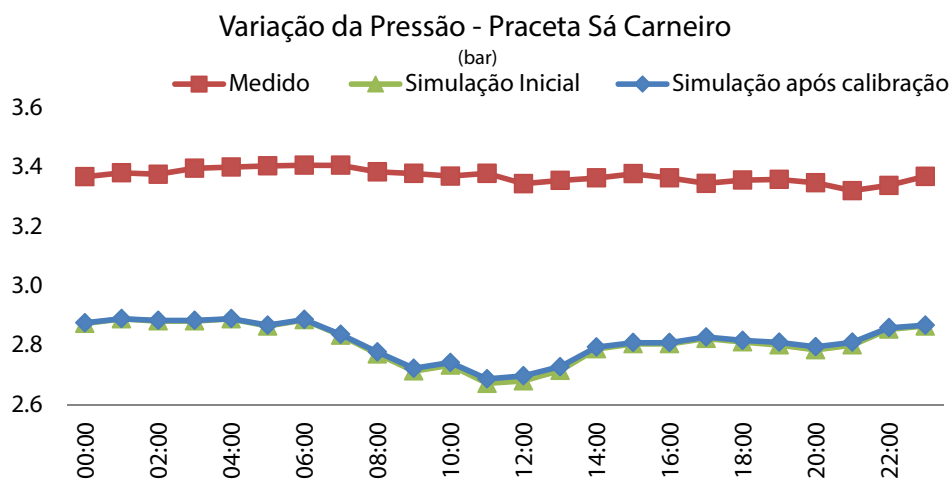


Figura 3.14: Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Praceta Sá Carneiro, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo

No ponto de medição Parque da Cidade (Figura 3.15 e Tabela 3.9), e face ao tipo de material das condutas, PVC e PEAD e a idade das mesmas, respetivamente 25 e 8 anos, foi considerada a não alteração das condições de rugosidade nas condutas. A comparação entre as pressões medidas e simuladas apresentam uma evidente escassez no consumo base adotado para o nó 084, com base nos registos de consumos daquele espaço (0.22 l/s). Simulados vários consumos base verificou-se que os melhores resultados se apresentavam com consumos base de 3 a 4 l/s. No entanto, esses valores representariam aproximadamente 30% dos consumos médios diários aduzidos à rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz (14,39 l/s). Inevitavelmente, levaria à alteração das condições óptimas apresentadas pelo modelo nos restantes nós da rede de distribuição de água do modelo, com maior expressão nos nós mais próximos. Assim, foi considerada a correção do caudal de 0,22 l/s para 0,5 l/s, que apesar de não muito significativo na calibração do modelo, numa redução de 18% para 17% é considerado como aceitável, tendo em conta a incerteza subjacente ao conhecimento do padrão de consumo adoptado para este espaço, nomeadamente nos consumos horários programados para a rega dos espaços verdes.

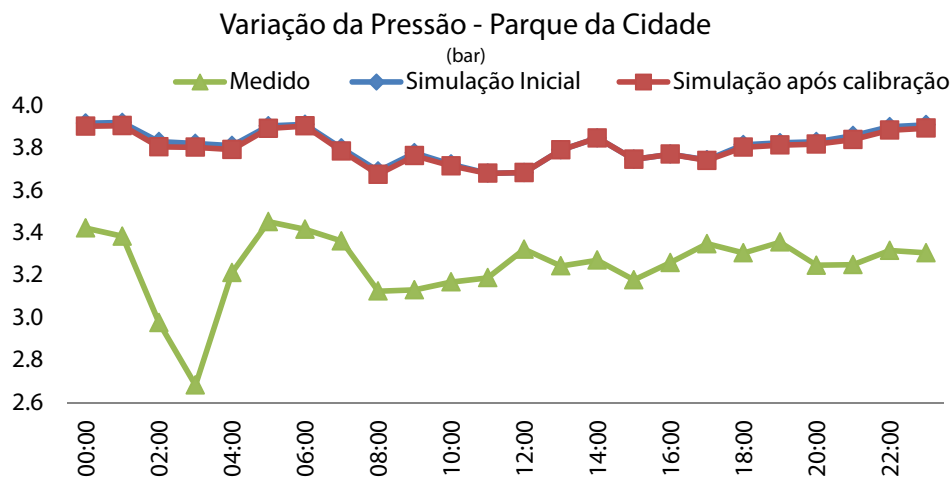


Figura 3.15: Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Parque da Cidade, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo

Para a calibração do nó 02907, correspondente ao ponto de monitorização da Rua de Mourão e face aos bons resultados obtidos nos pontos de monitorização à volta, nomeadamente nos nós correspondentes ao Br. António Sérgio, Zona Industrial – Perolivas, Rua Luís Camões e observando os valores de pressão do modelo simulado na área (boa correlação dos valores conhecidos pelas campanhas de manutenção da infraestrutura) surge a indicação de que os consumos base neste nó estavam desajustados. Perante este cenário, procedeu-se ao ajuste do consumo base do nó 02907 de 0.002 l/s para 1.1 l/s tendo-se obtido uma melhoria de 3%, ficando assim dentro do erro aceitável dos 10%. Pode à partida parecer um exagero o aumento do caudal, mas verificando a área circundante foi verificada a localização de dois serviços de lavagens de automóveis que permitiram considerar esta alteração válida (Figura 3.16 e Tabela 3.9).

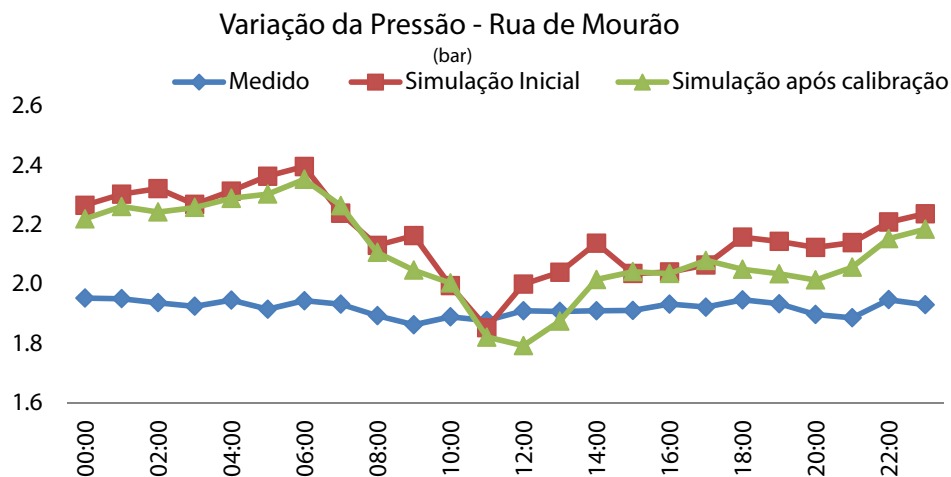


Figura 3.16: Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Rua de Mourão, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo

As calibrações do ponto de monitorização da Rua Professor Mota Pinto, nó 02264, apesar de numa primeira fase estar com uma correlação de 98% (Tabela 3.9) verificavam-se alguns desfaseamentos nos consumos de madrugada, entre as 2:00 e as 4:00 e entre as 6:00 e as 8:00, bem como no período da manhã entre as 10:00 e as 11:00, e no período da tarde entre as 15:00 e as 18:00. Desta forma, não se procedeu à calibração do modelo tendo em conta o melhoramento do erro das correlações, Figura 3.17, mas antes a regulação do padrão de consumo, de acordo com a laboração do grande consumidor (CARMIM).

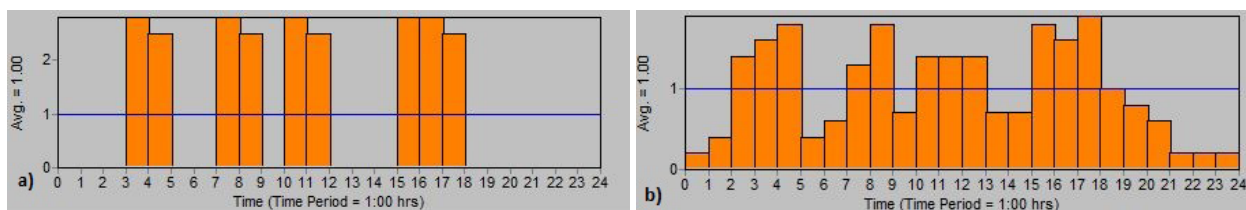


Figura 3.17: Padrões de consumo do grande consumidor (CARMIM), para a situação de pré-calibração (a) e pós calibração (b)

Com esta uniformização apesar de melhorar a curva de consumo no padrão geral, o erro passou dos 2% para os 3%, sendo considerado desprezável, tendo em conta o ganho na fiabilidade horária dos consumos e pressões associados ao nó 02264 com as pressões medidas, conforme demonstra a Figura 3.18.

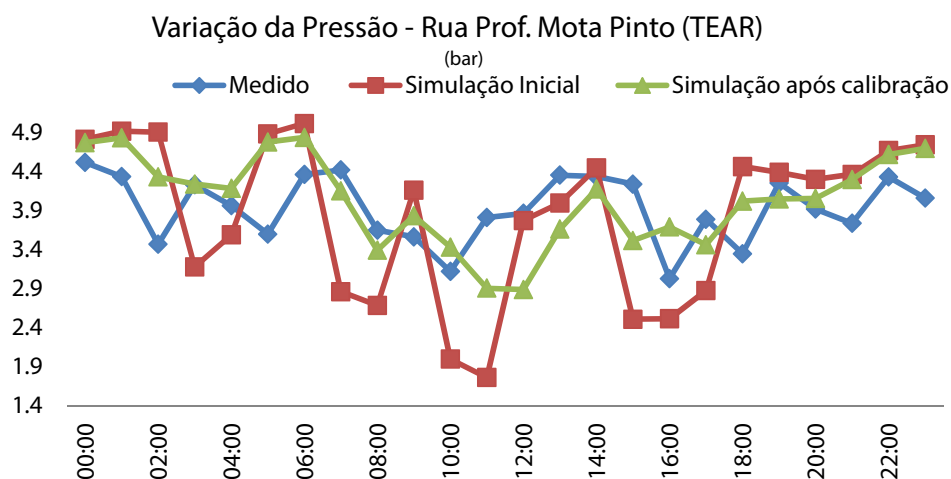


Figura 3.18: Valores de pressão horária simulada no nó correspondente ao ponto de monitorização Rua Professor Mota Pinto, através do EPANET 2.0, antes e após a calibração do modelo

Relativamente ao erro registado nos dados simulados no ponto de monitorização da Praça da Liberdade (02412), apesar da alteração dos consumos em toda a sua envolvente, da diminuição dos consumos base, da alteração do coeficiente de rugosidade nas condutas a montante e jusante, das condutas em fibrocimento de 80 mm com mais de 40 anos, cujo C atribuído foi 120, a pressão simulada ficou sempre, em média, entre os 25 e 26% de erro de correlação.

Realizadas as operações de calibração, surge a planta da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz, através do modelo criado e simulado no EPANET 2.0 com os valores da pressão dos nós divididos em cinco categorias: 0.00 a 0.50 bar, 0.51 a 1.50 bar, 1.51 a 3.00 bar, 3.01 a 6.00 bar e > 6.00 bar; e cinco categorias de velocidade de escoamento nos troços de conduta de água de: 0.00 a 0.05 m/s, 0.051 a 0.10 m/s, 0.101 a 1.00 m/s, 1.001 a 2.50 m/s e > 2.50 m/s (Figura 3.19).

Tabela 3.9: Valores das correlações entre a pressão medida e a simulada, antes e após a calibração

Pontos de monitorização	Quociente	%	Quociente após calibração	%
Carapetal	1.05	5	1.05	5
Pingo Doce	1.04	4	1.04	4
Praceta Sá Carneiro	0.83	17	0.84	16
Urb. ^a Monsaraz	1.05	5	1.05	5
Br. António Sérgio	1.04	4	1.04	4
Parque da Cidade	1.18	18	1.17	17
Zona Industrial (Perolivas)	1.06	6	1.06	6
Zona Industrial	1.07	7	1.07	7
Rua de Mourão	1.13	13	1.10	10
Rua Luís de Camões	0.99	1	0.99	1
Praça de St.º António	1.00	1	1.00	0
Praça da Liberdade	0.75	25	0.74	26
Av. Vitor Martelo	1.00	0	1.00	0
Rua João de Deus	0.97	3	0.97	3
Rua de Lisboa (Pingo)	0.96	4	0.96	4
Quinta Nova	1.01	1	0.99	1
Quinta da Luz	1.03	3	1.03	3
Rua Prof.º Mota Pinto (TEAR)	0.98	2	1.03	3
Rua dos Mendes	1.01	1	1.01	1
Zona dos Mendes	1.01	1	1.01	1

O presente trabalho tem como base integrante a verificação da atual rede de abastecimento de água no que ao Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto diz respeito, e o seu cumprimento. Neste caso as pressões não podem ser inferiores a 14 m.c.a nem superiores a 60 m.c.a, e a velocidade de escoamento não deve ser inferior a 0.30 m/s e, por decisão técnica, não deve ser superior a 2.00 m/s.

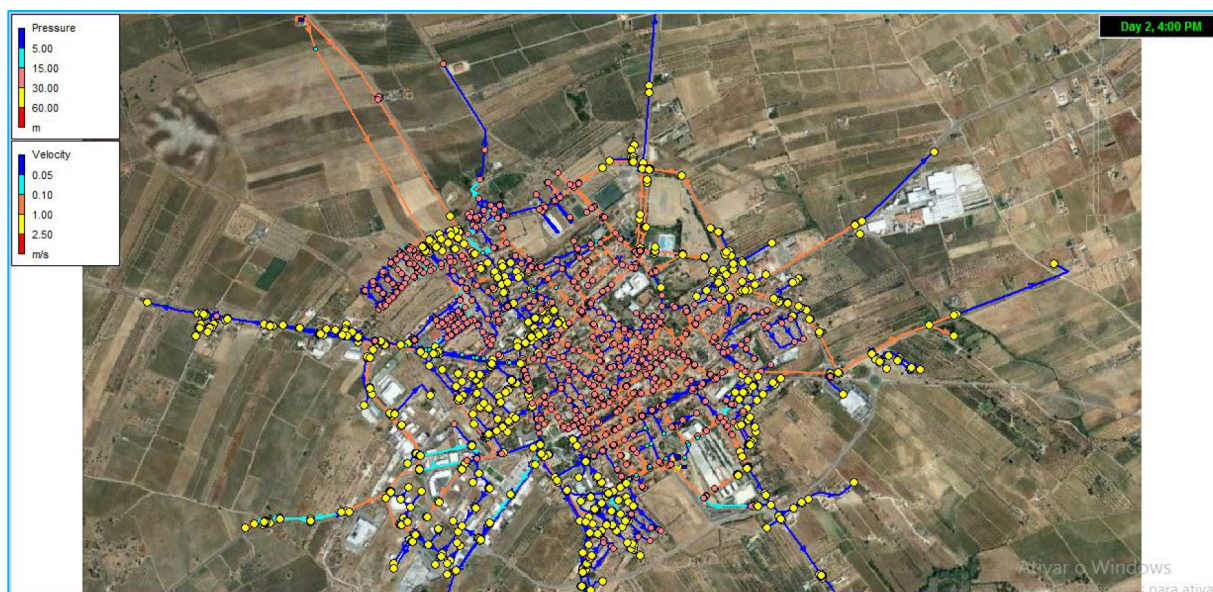


Figura 3.19: Planta do modelo simulado, após calibração, da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz às 16:00 com os dados, através de cores, das pressões nos nós e velocidade de escoamento nos troços de conduta

3.5 Testes preliminares para futuras opções de desenho hidráulico

Após a calibração do modelo e a análise do comportamento hidráulico da rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, cuja análise será detalhada na discussão dos resultados, foram realizados dois testes adicionais - chamados de testes preliminares 1 e 2, que apesar de necessitarem de posteriores ensaios de validação tentam responder ao que o modelo demonstrava serem algumas das carências da rede de distribuição de água, em termos de velocidade de escoamento e pressão de serviço. Referir ainda que os testes efetuados não têm como objetivo a projeção da evolução da população para os próximos 5, 10 ou 20 anos nem tão pouco a perspetiva do aumentos dos consumos, mas tão só a correção de alguns troços para o presente e a criação de ZMC a fim de melhorar o serviço prestado e a eficiência da rede. Os dados base de consumo e população são igualmente 14.57 l/s e 7261 habitantes, respetivamente.

Para o trabalho preliminar 1, ver Tabela 3.10, procedeu-se à substituição das condutas água nos principais troços, conforme indicado na Tabela 3.5.1, onde se detetaram as pressões baixas e elevadas velocidades de escoamento, nomeadamente por serem as rotas preferenciais de adução a grandes consumidores ou a áreas mais distante e densamente populosas, sendo a avaliação comparativa efetuada às 11:00 horas.

Tabela 3.10: Quadro relativo à substituição das condutas para o teste preliminar 1

DN existente (mm)	Material	Troços de Condução a Substituir	DN novo (mm)	Material
150	Fibrocimento	02000, 02001, 02002, 02003, V2001, 02002a, 02003, 02006, 02007, 02010, V2002, 02011, 02012, V2003, 02013, V2004, 02014, 02015, 02018	200	PEAD
80	Fibrocimento	02020, 02021,	200	PEAD
100	Fibrocimento	2090	160	PEAD
80	Fibrocimento	02099, 02100, 02101, V2020, 02102, V2021, 02118, 02136, 02134, 02133, 02412, 02398, V2118, 02397, 02399, V2119, 02400, V2120, 02401, V2121, 02402, 02403, 02404, 02405, 0331, V83, 0330, 0328, 0324, V81, 0333, V2008, 02311, 02312, 02313, 02314, 02316, 02317	140	PEAD
80	Fibrocimento	02371, 02373, 02374, V2112, 02379, 02380, 02384, 02382	125	
60	Fibrocimento	V2007, 02022, 02024, 02025, V208, 02026, V209, 02028, 02031, 02032, 02033, 02034, 02035, V2012, 02042, 02043, 02044, V2013, 02045, 02046, 02047, V2014, 02048, 02163, 02164, 02049, 02166, V2257, 02085, 02086, 02087, 02088, V2016, 02089, 02285, V2089, 02286, 02253, 02232, 0233, 02209, 02210, 02208, 02192	125	PEAD
60	Fibrocimento	02265, 02266, 02267, 02264, V2060, 02193, 02103, 02104, 02141	140	PEAD
60	Fibrocimento	V2086, 02103, 02104, 02104, 02141, 02140, V2026, 02120, V2025, 02119, 0324, V81, 0333, 02211, V067, 02212, V2068, 02213, 02216, 0217, V2070, 02218, V2071, 0284, V2086, 02275, 02274, 02272, 02273, 02036, 02037, V2019, 0962	110	PEAD
60	Fibrocimento	0962, V2019, 02037, 02036, 02273, 02272, 02274, 02284, V2111, 02386, 02388, V2113, 02389, 02390	90	PEAD
63	PVC	02375, 02376, 02377	90	PEAD
90	PVC	02192, 02208, 02209, 02210, V2071	110	PEAD
90	PVC	V2066, 02720	140	PEAD

Para o teste preliminar 2, procedeu-se à criação de quatro ZMC denominadas como: ZMC 1 – Zona Industrial, ZMC 2 – Reguengos Elevado, ZMC 3 – Reguengos 1 e ZMC 4 – Reguengos 2. Para a criação das ZMC foram tidas em conta as diferenças altimétricas, a divisão uniforme de consumidores por zona, e a distinção da área industrial com a área doméstica, conforme demonstra a Figura 3.20.

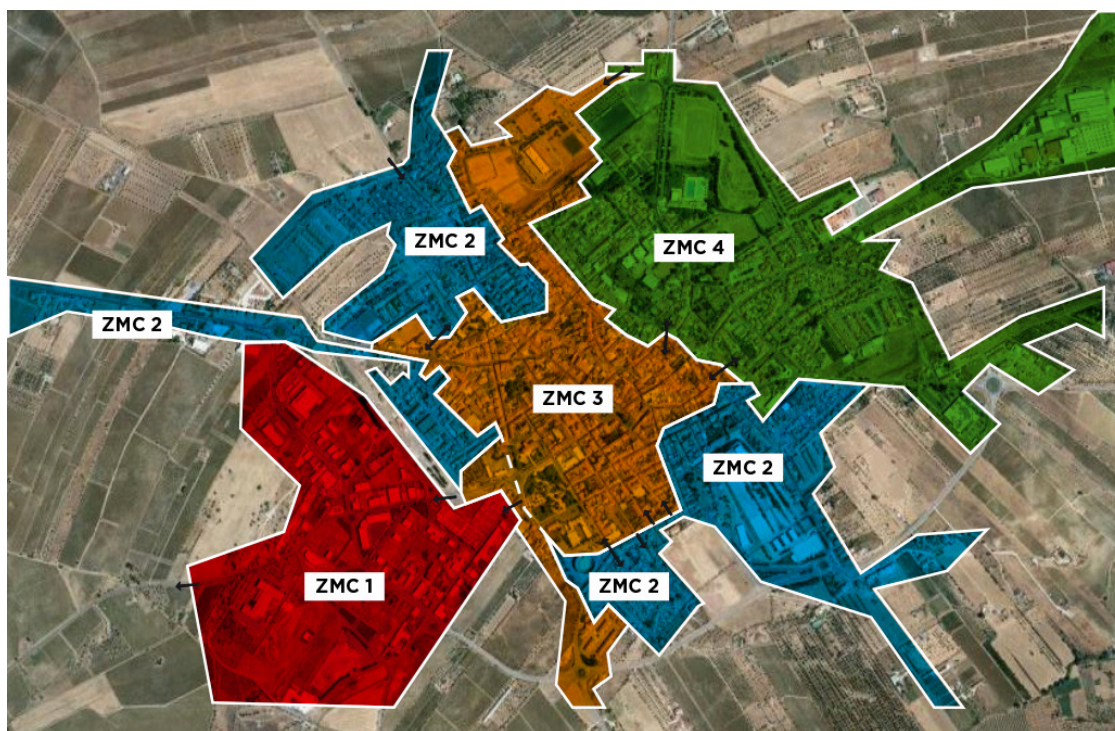


Figura 3.20: Desenho representativo da possível criação da ZMC em Reguengos de Monsaraz (teste preliminar 2)

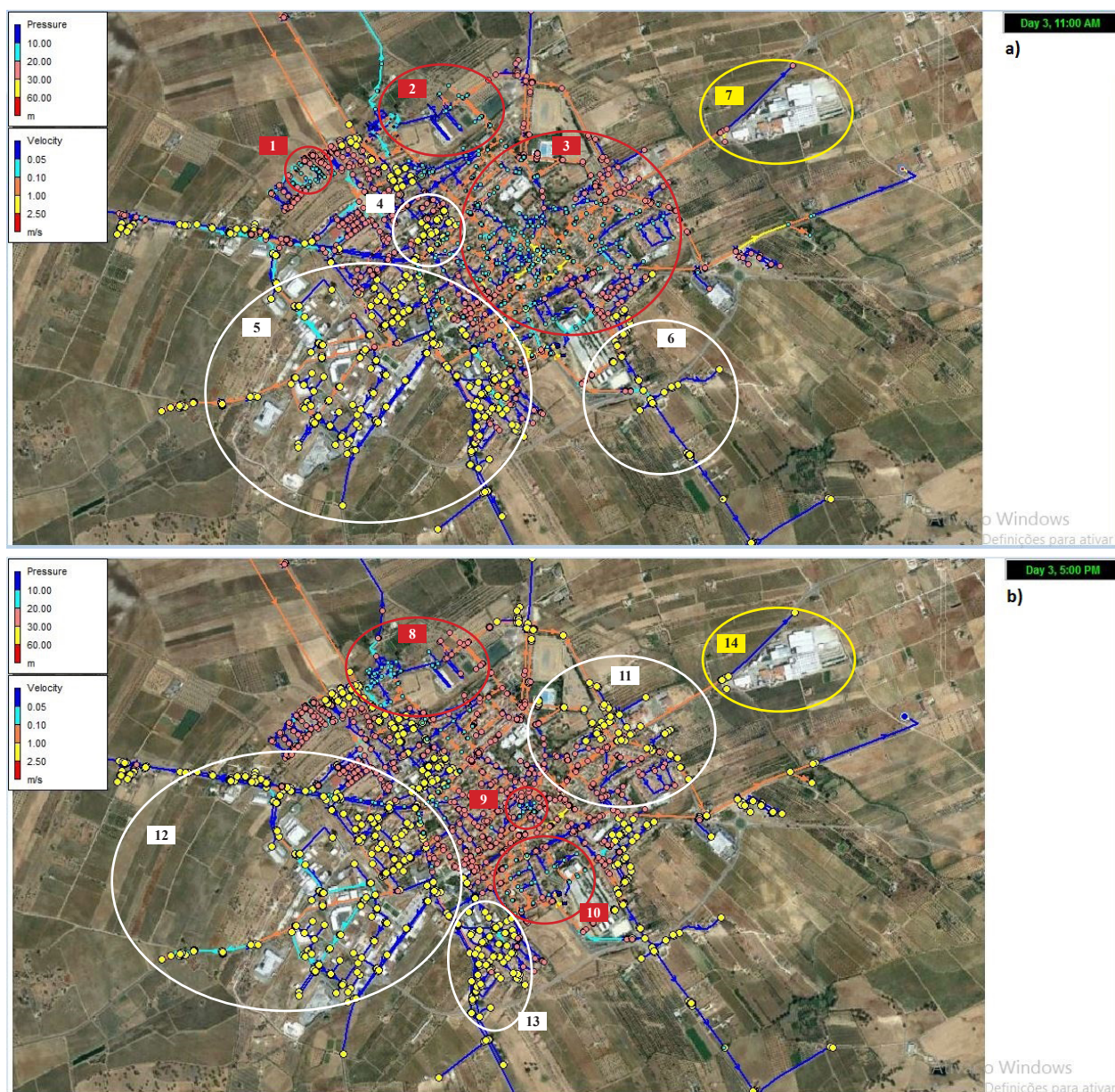
Conforme referido anteriormente, também este teste preliminar necessita de mais validações, nomeadamente para verificação da operacionalidade das válvulas, de ligações extras necessárias para a correção dos pontos de entrada para cada ZMC, e a verificação no terreno de cada ZMC *per si*, para menor impacto no dia-a-dia da população. Relativamente às ligações extras, existe a necessidade de efetuar uma ligação entre os nós 025 e 0470 de modo a permitir a ligação da Aldeia de Cima à ZMC2, através da ligação à conduta vinda do reservatório do Outeiro do Barro Velho. A outra ligação corresponde à conexão de um pequeno troço da Rua de Mourão que liga a Rua do Covalinho às ruas das Áreas de Baixo e Áreas de Cima - ligação do nó 0103 ao nó 02053a, separando-os assim do nó 02053. Outro ponto extra de ligação obrigatório, para que a ZMC 3 funcione, é a ligação do nó 02924 à conduta de PVC de 160mm, (nó 02924b). As válvulas que necessitarão ser manobradas para a definição das ZMC estão devidamente referenciadas e a ação descrita na Tabela 3.11.

Tabela 3.11: Quadro relativo à delimitação das ZMC e operacionalidade das válvulas

ZMC	Identificação da Válvula	Condição de Operação	Ponto de entrega
1	V2195a	Aberta	Sim
	V1001	Aberta	Sim
	V2195	Fechada	Não
	V2177	Fechada	Não
2	V51, nó 0693a, V136a, V7, troço 05a	Aberta	Sim
	V45, V12, V49, V161, V57, V9, V161, V167	Aberta	Não
	V176, V80, V86, V86, V85, V170, V67a, V70, V2165, V2015	Fechada	Não
3	V2129, V2141, V2025, V2026, V2013, troço 2127	Aberta	Sim
	V2154	Aberta	Não
	V2029a, V2025a, V2030, V2025b, V2062, V2155	Fechada	Não

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para uma análise mais adequada aos resultados obtidos serão analisados alguns dados do modelo, que após a calibração, se consideram como representativos do comportamento hidráulico da rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz. Para uma melhor avaliação às solicitações dos consumos diários, irão ser analisados três cenários, Figura 4.1, cujos dados são extraídos dos momentos temporais: a) 59 horas de simulação, que representa as 11:00; b) 65 horas de simulação, que representa as 17:00; c) 71 horas de simulação, que representa as 23:00.



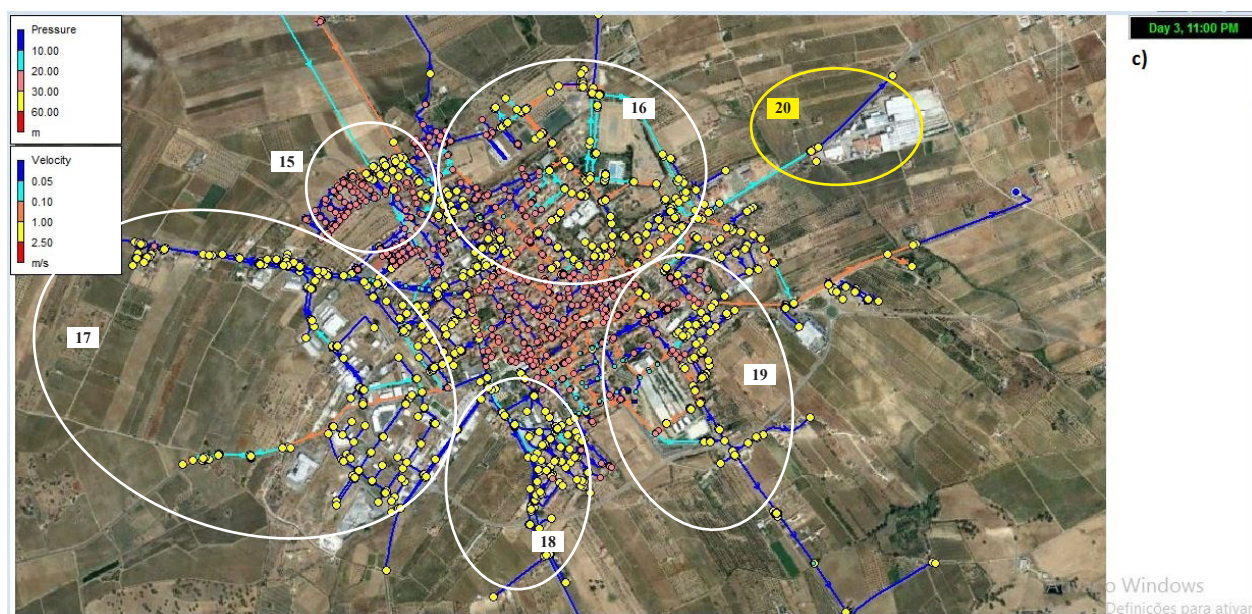


Figura 4.1: Comportamento da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz às 11:00, 17:00 e 23:00 – a), b) e c) respetivamente

Por se verificar que as médias diárias de água aduzida à rede entre os dias de fim de semana e os dias úteis eram bastante semelhantes, 1271.45 contra 1178.85 respetivamente, foi determinado usar o valor médio diário semanal para carregar o modelo, com os consumos de 14.39 l/s. Ainda assim, o presente modelo após a calibração, ficou com excedente de caudal aduzido de 1% (14.57 l/s), considerado não relevante para a simulação. O cenário a) mostra o comportamento da rede de abastecimento às 11:00, hora de maior atividade industrial, de comércio e dos grandes consumidores. Os pontos marcados a 1 e 2 encontram-se na zona mais a norte da cidade, mais concretamente na Urbanização do Carapetal e Aldeia de Cima. A essa hora verifica-se que num dos pontos mais elevados da rede - extremo da rede - se encontra a área central da Aldeia de Cima, com pressões abaixo do estipulado pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, com variações entre os 0.63 a 0.98 bar e velocidades de escoamento entre os 0.01 e 0.12 l/s. Estes valores são bastante preocupantes e demonstram que a rede neste ponto não está capacitada para as necessidades, não sendo possível atingir pressões de conforto, entre os 2.00 e os 3.50 bar, sem que se procedam a alterações nesta área, nomeadamente ligação a troços de conduta com maior carga hidráulica, como por exemplo a conduta de água vinda do setor elevado (Moinho de Vento Elevado ou Outeiro do Barro Velho). A área 3, a zona mais

antiga da rede de abastecimento conhecida por Reguengos de Baixo, onde se encontra uma rede envelhecida em fibrocimento e consumos maioritariamente domésticos, tem valores de pressão entre os 1.4 a 1.7 bar) e velocidades de escoamento abaixo dos 0.05 m/s, demasiado baixos para os 0.30 m/s recomendados. As zonas 4, 5 e 6 - Largo do Poço do Príncipe, Zona Industrial, Br.º António Sérgio, Urb. João Paulo II e Urb. de São Marcos - apresentam pressões entre os 3.25 a 3.65 bar e velocidades de escoamento abaixo dos 0.05 m/s, com a exceção dos setores que “encaminham” o abastecimento ao matadouro na zona industrial e para a localidade de Perolivas e o troço inicial vindo do Moinho de Vento Elevado, que aduz a parte alta da cidade, onde as velocidades de escoamento se encontram entre os 0.14 e os 0.31 m/s. A área 7 é a área circundante à CARMIM e apresenta pressões dentro dos 2.65 bar e velocidades de escoamento de 0.63 m/s. A restante rede de distribuição tem uma pressão de serviço que varia entre os 2.00 a 3.00 bar e velocidades de escoamento muito baixas (0.01 m/s) a medianas (0.39 m/s), não sendo ainda assim possível ultrapassar em média os 0.29 m/s, consideram-se as melhores possíveis.

O cenário b) é representativo do comportamento hidráulico da rede de distribuição de água às 17:00, sendo possível verificar que as zonas com menor pressão (8, 9 e 10) apresentam na sua maioria os pontos mais elevados da cidade, e onde a rede está mais envelhecida. As pressões ainda assim variam entre os 1.30 a 1.80 bar e velocidades de escoamento entre os 0.01 e os 0.06 m/s. A área correspondente à zona industrial, aos extremos urbanos da cidade e pontos abastecidos pelos setores do Moinho de Vento Elevado e Outeiro do Barro Velho, é a que apresenta maiores valores de pressão de serviço, entre os 3.0 a 4.3 bar e velocidades de escoamento abaixo dos 0.40 m/s, com a exceção do troço que abastece diretamente a CARMIM com 0.80 m/s. O comportamento revela por um lado, o abaixamento de consumo na zona industrial para além da redução generalizada nos consumos urbanos que antecedem os picos de consumo da noite (19:00 – 22:00), por outro lado o aumento dos consumos para a localidade de Perolivas e para a CARMIM, com a rede a obter velocidades de escoamento entre os 0.17 e 0.81 m/s e consumos entre os 1.30 e 4 l/s. Na restante rede de distribuição verifica-se um bom comportamento, sendo capaz de responder às solicitações com pressões a variarem entre os 2.30 a 2.60 bar e velocidades de escoamento entre os 0.01 e os 0.70 l/s.

O cenário c) é representativo do comportamento hidráulico da rede de distribuição de água às 23:00, no início do período “morto” de consumos. Este período é muitas vezes utilizado como o início dos períodos de campanhas de controlo ativo de perdas, através do estudo dos caudais noturnos entre as 23:00 e as 5:00. Neste período, e como seria espectável fruto da redução drástica de consumos na cidade, com a exceção da zona central da cidade de Reguengos de Monsaraz onde se encontra a rede mais antiga e de menor diâmetro e ainda assim predominantemente de uso doméstico e comércio, apresenta pressões dentro dos 2.00 a 2.90 bar. Toda a restante área apresenta pressões de serviço entre os 3.00 e os 3.9 bar e velocidades de escoamento abaixo dos 0.05 m/s. Para melhor perceção destes três cenários apresentam-se os respetivos diagramas (Figura 4.2).

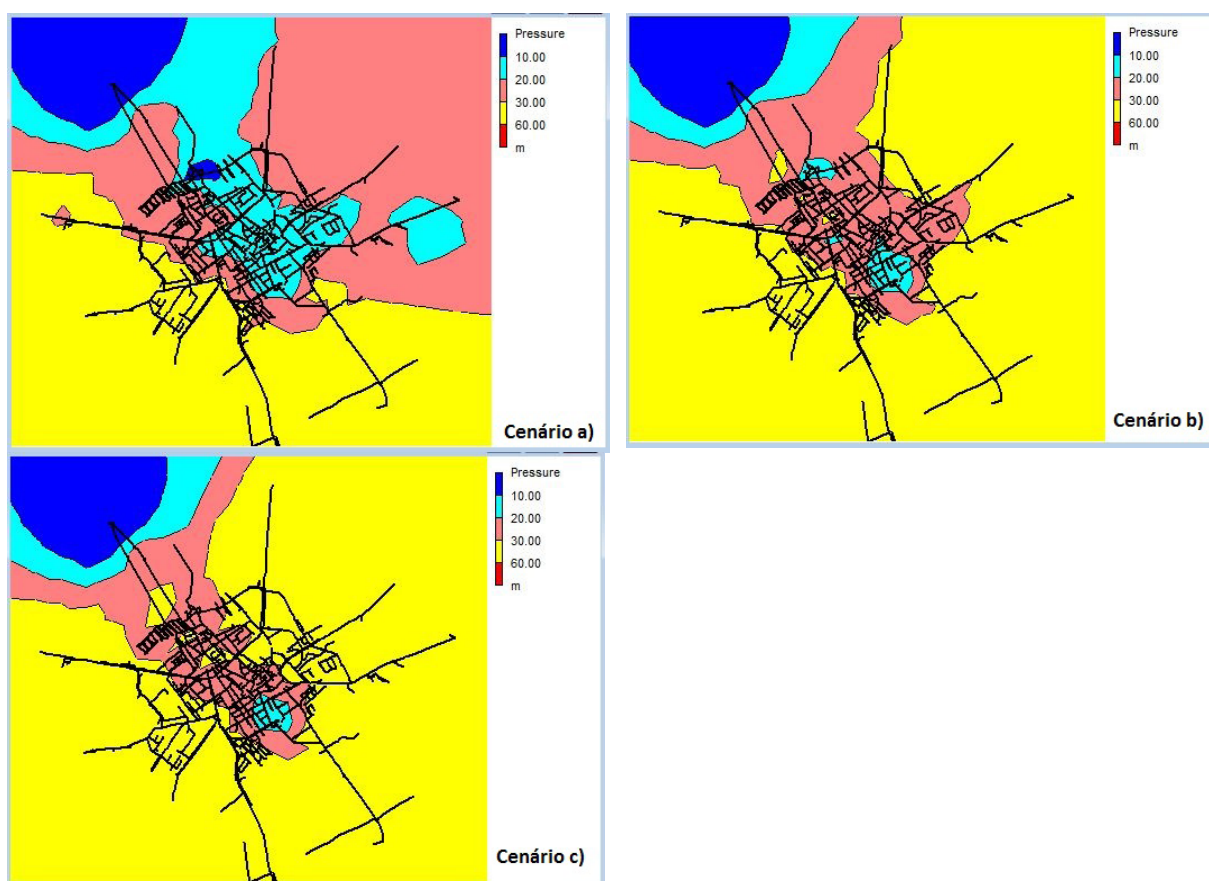


Figura 4.2: Diagrama de pressões na rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz às 11:00 (a) , 17:00 (b) e 23:00 (c))

Relativamente aos caudais aduzidos à rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, durante a simulação, e de acordo com a Figura 4.3 verificam-se caudais nos períodos de maior consumos (6:00 às 14:00), com picos de caudais aduzidos de 115 a 140 l/s. Entre as 17:00 e as 22:00 os caudais aduzidos são de 100 l/s. Ao invés, nos períodos de menor consumos, entre a 1:00 e as 6:00, os caudais aduzidos encontram-se entre os 35 l/s.

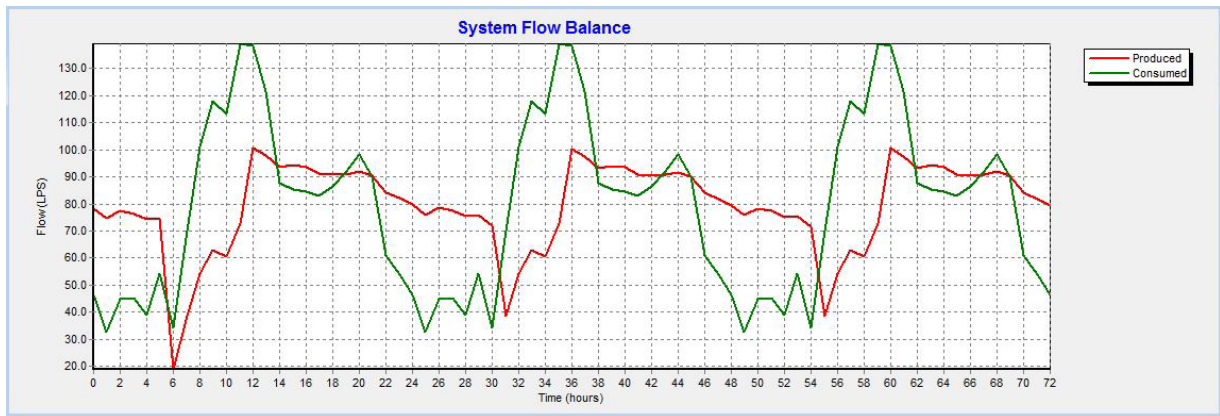


Figura 4.3: Balanço dos caudais aduzidos à rede de distribuição de água durante 72 horas de simulação

Outro fator importante é a verificação das baixas velocidades de escoamento da água dentro das condutas, inferior a 0.05 m/s na maioria da rede de abastecimento de água da cidade de Reguengos de Monsaraz, e praticamente em permanência no tempo. Esta realidade confirmada em todos os cenários, vem corroborar a atividade normal no dia-a-dia de gestão da rede da EG, aquando dos processos de manutenção da rede de abastecimento de água, através da substituição de condutas ou reparação de roturas de água, que é a observação de biofilme nas paredes das condutas.

Relativamente aos testes preliminares, verifica-se no teste 1 uma melhoria das pressões dos nós dos pontos elevados e nos nós dos troços preferenciais, pois com o aumento do diâmetro das tubagens permitiu-se uma diminuição da velocidade de escoamento o que influencia diretamente a pressão. Na Tabela 4.1 apresentam-se os dados de pressão de alguns nós e condutas para a exemplificação das melhorias registadas com esta operação.

Tabela 4.1: Quadro representativo das melhorias da pressão e velocidade de escoamento com as propostas de alteração das condutas no teste preliminar 1

Designação do Nó	Identificação	Pressão (bar)	Pressão no teste 1 (bar)	Velocidade (m/s)	Velocidade no teste 1 (m/s)
02001	conduta	-	-	1.50	1.10
02020	nó	1.95	2.24	-	-
02029	conduta	-	-	0.89	0.36
02033	conduta	-	-	0.98	0.50
02056	nó	1.85	2.48	-	-
0452	nó	0.65	2.33	-	-
02238	nó	2.20	3.88	-	-
02209	conduta	-	-	0.63	0.40
02525	conduta	-	-	0.01	0.01
02291	nó	1.22	3.13	-	-

Efetuada o ensaio com a criação das quatro ZMC constata-se que o decreto regulamentar é cumprido, quase na totalidade, relativamente à pressão mínima de serviço conforme consubstanciado na Figura 4.4. Na ZMC 1 (Zona Industrial) são verificadas pressões e velocidades de escoamento na hora de maior consumo, às 11:00, dentro do intervalo 3.00 a 4.40 bar e 0.01 a 0.40 m/s. Às 23:00, registam-se pressões de 3.19 a 4.40 bar e velocidades bastante mais baixas, entre os 0.00 e os 0.12 m/s. As velocidades nulas acontecem por estarmos a falar de fins de linha nos troços das condutas e/ou porque a Zona Industrial apesar de ter rede que abasteça todos os lotes, os mesmos não estão sequer ocupados a 50%. Na ZMC 2 (Reguengos Elevado) não existem alterações de maior, com a exceção da inclusão da Aldeia de Cima, Rua das Áreas de Cima e Áreas de Baixo nesta ZMC, pois por necessidades de aumento da pressão de serviço na zona alta da cidade já havia sido formado um setor diferenciado pela questão altimétrica. Assim, as pressões às 11:00 encontram-se entre os 2.30 e os 3.70 bar e as velocidades entre os 0.01 e os 0.30 m/s, enquanto às 23:00 se verificam pressões e velocidades entre os intervalos 2.40 a 4.20 bar e 0.01 a 0.12 m/s. Na ZMC 3 (Reguengos 1) e ZMC 4 (Reguengos 2) também se obtiveram divisões equilibradas em termos hidráulicos e com a garantia integral do cumprimento regulamentar relativamente às pressões de serviço. No que concerne às velocidades de escoamento, ter-se-iam que realizar intervenções de grande dimensão, como por exemplo redimensionamento de toda rede, relativamente aos diâmetros nominais, e subsequente substituição ou criação de novos reservatórios de equalização com a adução para a rede de distribuição de água a ser efetuada através de bombagem (energeticamente

desaconselhado) que, ainda assim, colocariam desafios enormes para a garantia de boas pressões de serviço. Com a simulação efetuada para a hora de maiores consumos verificam-se pressões e velocidades de escoamento dentro dos intervalos 1.30 a 2.90 bar e 0.01 a 1.19 m/s, enquanto que pelas 23:00 se verificam pressões e velocidades com intervalos entre 2.40 a 4.30 bar e 0.01 a 0.26 m/s. A ZMC 4 (Reguengos 2) a essa hora apresenta pressões de serviço acima dos 3.00 bar.

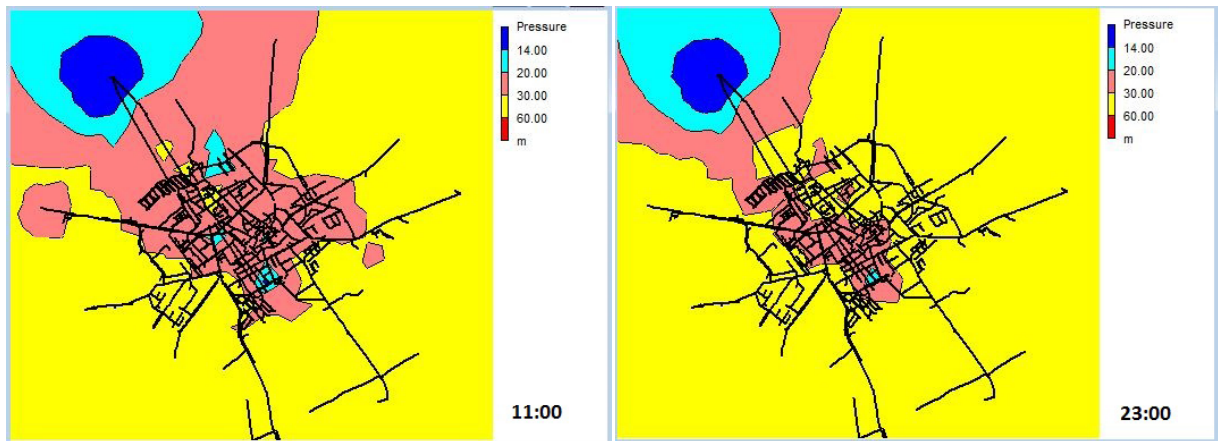


Figura 4.4: Diagrama comparativo na rede de abastecimento de água às 11:00 e 23:00 com a criação de quatro ZMC

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES À ENTIDADE GESTORA

Tendo como base o trabalho desenvolvido, pode verificar-se a existência de falhas no desempenho hidráulico da rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, no que diz respeito aos parâmetros de pressão, velocidade de escoamento e também de caudal. O presente trabalho tem em atenção a verificação, no âmbito do trabalho desempenhado enquanto gestor da rede de abastecimento de água dentro da entidade gestora, de questões fundamentais no atual desenho e desempenho que uma rede de distribuição água para consumo público deve ter. Nomeadamente, a manutenção para a simultaneidade de tipos de usos, sempre com o objetivo do garante da qualidade hidráulica do sistema, e a qualidade da água distribuída, dentro de balizas aceitáveis de qualidade. O desempenho hidráulico exposto abrange um período de recolha de dados entre os meses de maio e junho, mais concretamente entre 4 de maio e 23 de junho de 2018. Durante este período os consumos medidos não tiveram grande variação entre consumos nos dias úteis e nos de fim de semana, 1271.45 m³/dia vs. 1178.85 m³/dia, tendo sido também verificado. Observou-se um início mais tardio dos picos de consumo ao fim de semana, com transposição de uma a duas horas em relação à semana. Por este motivo, somente foi considerado estabelecer-se um padrão global de consumo semanal, sendo posteriormente formados quatro tipos de padrões de consumo de acordo com o tipo de atividade ou usos. Foram criados os padrões de consumo doméstico, industrial, grande consumidor e parque da cidade (espaço verde lúdico da cidade). Para a distribuição de consumos nos nós da rede de distribuição, e para capacitar o modelo para uma representação o mais real possível do comportamento hidráulico, foram tidos em conta os consumos do grande consumidor CARMIM (2.32 l/s), do matadouro (0.82 l/s), do parque da cidade (0.50 l/s), através dos dados de faturação do município, com a definição de consumos nos respetivos nós. Para maior exatidão dos consumos introduzidos nos nós do modelo, por áreas (por exemplo habitação, indústria), e tendo por base a faturação da EG a algumas indústrias e a efetuada a média de consumos, de faturação da EG, de 29 habitações para caracterizar os consumos em bairros residenciais, estabeleceram-se os consumos domésticos por habitação (0.004 l/s) e por indústria (0.01 l/s; indústria tipo de Reguengos de Monsaraz). A estes foram somados os 1.80 l/s que são aduzidos por esta rede para a localidade de Perolivas, tendo por base os dados de uma campanha de deteção ativa de perdas de água realizada em Perolivas. Para melhor perceção, foram analisados três cenários horários do comportamento hidráulico da rede que ajudam a interpretar o comportamento da rede durante as 24 horas: às

11:00, 17:00 e 23:00 respetivamente. Mediante os resultados observados através do modelo criado no EPANET 2.0 verificam-se à saída dos reservatórios, nomeadamente nos períodos de maior consumo, velocidades de escoamento elevadas nas condutas, com valores de 1.0 m/s para o troço de conduta 01a, 0.12 a 0.9 m/s para o troço de conduta 012, superiores a 1.4 m/s no troço de conduta 02000 e superior a 1.0 m/s para o troço de conduta 053. As perdas de carga situam-se entre 0.12 a 18 m/km, este último nos troços de condutas 02000 e 053.

Relativamente às pressões, e tendo em atenção as pressões mínimas estipuladas pelo Decreto Regulamentar n.º23/95 de 23 de Agosto, pode observar-se que a rede de distribuição apresenta nos troços abastecidos pelo reservatório do Moinho de Vento, nos pontos mais elevados acima da cota 214 m, pressões abaixo dos 1.40 bar, tendo em algumas zonas da Aldeia de Cima pressões abaixo de 1.00 bar. Nas áreas de predominância residencial desse mesmo setor, e onde a rede de abastecimento é mais antiga, as pressões mantiveram-se entre os 1.40 e os 2.00 bar. Somente nas zonas abastecidas pelo Moinho de Vento Elevado e Outeiro do Barro Velho, a rede que abastece a zona mais alta da cidade, se verificaram nos períodos de maior consumo pressões acima dos 3.00 bar, mas sempre inferiores a 4 bar. Nos períodos de consumos baixos e noturnos a rede de abastecimento responde de modo positivo nas zonas mais elevadas e na área consolidada entre os 2.0 e os 2.9 bar, e nos restantes nós entre os 3.10 e os 3.90 bar. Assim pode concluir-se que em relação à pressão, a rede estudada apresenta-se no geral dentro dos limites regulamentares, entre os 1.40 e os 6.0 bar, com a exceção das zonas mais elevadas dos troços mais antigos da rede. Este parâmetro é de extrema importância, pois como cerca de 35% da rede de distribuição de água é composta por condutas em fibrocimento com mais de 50 anos e a maioria da restante rede tem mais de 30 anos, a susceptibilidade das mesmas a perdas de água aumenta, pelo que uma grande variação de pressões ao longo do dia assim como pressões demasiado elevadas podem fazer aumentar as perdas reais de água. Para melhor entendimento dos resultados podem ser analisadas as seguintes plantas anexas: A.1, A.2, A.4 e A.5.

Para as velocidades de escoamento nos troços de conduta, e nos períodos de maior consumo, as velocidades encontram-se entre os 1.10 e 1.30 m/s, por exemplo nos troços de conduta 0370, 02003, 02099, 02140, 02317, 02403 e 02720, sendo estes os troços de conduta de início da rede, junto aos reservatórios, ou troços que pela sua localização e devido a questões altimétricas e de

desenho hidráulico preferencialmente encaminham maiores volumes de água para zonas mais elevadas, ou para a zona onde se encontra o grande consumidor CARMIM. Ainda assim, a maior parte das condutas apresentam velocidades de escoamento abaixo dos 0.10 m/s, com uma grande incidência de velocidades abaixo dos 0.05 m/s. Nos períodos de menor consumo esta tendência agrava-se bastante com mais de 90% da rede com velocidades abaixo dos 0.05 m/s, por exemplo os troços de condutas 0519, 02003, 02165 e 02499, bem abaixo do recomendado, e os restantes troços entre os 0.10 e os 0.30 m/s, por exemplo os troços de condutas 06, 0637, 0102, 0109, 02118a, 02223, 02407 e 02689. A velocidade de escoamento tem influência direta da pressão, no entanto a maior preocupação com este fator tem a ver com os tempos de residência da água na rede e a deterioração da qualidade da água fornecida à população. Este estudo não incidiu nos parâmetros de qualidade, pelo que os resultados apenas apontam uma tendência. Para a verificação da qualidade da água, será importante estudar posteriormente os teores de cloro na rede, o seu decaimento e o tempo de transporte da água na mesma. Ainda assim, analisados os dados da velocidade de escoamento juntamente com os dados observados aquando trabalhos de manutenção da rede e os valores de cloro residual observados pelo plano de controlo operacional da qualidade da água (PCQA), exigidos pela entidade reguladora, pode projetar-se uma elevada quantidade de troços de condutas com biofilme nas suas paredes, devido ao elevado tempo de percurso da água na rede. Para melhor entendimento dos resultados podem ser analisadas as seguintes plantas anexas: A.1, A.3, A.4 e A.6.

Relativamente aos testes preliminares 1 e 2, pode concluir-se que ambos são exequíveis e trazem melhorias substanciais em duas vertentes: uma operacional e outra de serviço. Em termos operacionais o teste 2 proporcionará a efetividade de um perfeito controlo ativo de perdas de água e com isso a melhoria da eficiência da rede, isto com perdas de pressão de serviço, na área mais desfavorável, inferiores a 0.3 bar. O teste 1 mostra que com uma intervenção um pouco mais profunda se conseguem melhorar bastante as pressões de serviço nos pontos elevados da cidade, nos troços mais antigos, e na área circundante ao grande consumidor acabando com o impacto negativo da sua laboração na rede de distribuição de água. Em todos os casos, com todos os ensaios efetuados verifica-se que na zona dos Mendes a pressão é sempre muito elevada (5 bar em média). Para melhor entendimento dos resultados podem ser analisadas as seguintes plantas anexas: A.7 e A.8.

Por último, concluir que os pressupostos explanados nos objetivos foram cumpridos, nomeadamente a criação e calibração o modelo hidráulico da rede de distribuição de água da cidade de Reguengos de Monsaraz e a avaliação da rede, com o estudo de alternativas que visassem a melhoria da eficiência da rede, com boas pressões de serviço, através da criação de ZMC ou através da substituição de troços de condutas. Os dados extraídos e o conhecimento adquirido, da rede de distribuição de água de Reguengos de Monsaraz, tornam este estudo numa mais-valia para o autor e para a EG.

Como recomendações à entidade gestora Município de Reguengos de Monsaraz, e face aos resultados obtidos com base no modelo criado, e verificados através dos dois testes adicionais de operações simuladas após a calibração do modelo, sugestionam-se:

1. A alteração de alguns troços da rede, aumentando os seus diâmetros, de modo a diminuir a velocidade de escoamento, em troços muito específicos como por exemplo na Rua Conde de Monsaraz, Praça de Santo António e Rua de Lisboa, e melhorar a pressão de serviço em determinadas zonas da cidade;
2. A alteração do ponto de fornecimento de água da Aldeia de Cima ligando do atual reservatório do Moinho de Vento para o reservatório do Outeiro do Barro. Esta intervenção de pequena dimensão, e com custos relativamente baixos, proporciona o aumento da pressão na Aldeia de Cima, com benefícios na qualidade dos serviços imediatos;
3. A alteração de alguns troços da rede, aumentando os seus diâmetros, de modo a diminuir a velocidade de escoamento dando resposta à zona preferencial de adução de água ao grande consumidor e respetiva zona residencial envolvente, diminuindo os impactos negativos da laboração desta indústria na rede de distribuição de água e respondendo positivamente às reclamações efetuadas pelos residentes na área de influência do grande consumidor;
4. Um eficaz serviço de controlo ativo de perdas através da criação de ZMC;
5. A colocação de uma válvula redutora de pressão após o nó 0719 para garantir pressões na Zona dos Mendes dentro dos 3.00 bar;
6. Criação de um plano de descargas programadas de modo a diminuir o tempo de permanência de água na rede;

7. Com base no modelo elaborado em EPANET 2.0, elaboração da modelação da qualidade da água (decaimento de cloro) na rede.

Por último deve ainda ser referido que a utilização do modelo de simulação EPANET 2.0 se revelou ser bastante prático, permitindo uma avaliação correta da rede de distribuição de água na sua vertente hidráulica, sendo um *software* altamente eficaz com distribuição gratuita. O presente trabalho reforça a importância para as EG, dos cadastros georreferenciados das infraestruturas de abastecimento, mas também de saneamento, com toda a informação disponibilizada. Neste caso particular, o projeto SIGREDES gerido pela CIMAC, foi essencial para a realização deste estudo, assim como de futuros estudos que se queiram efetuar no Alentejo Central e que visem a melhoria de eficiências das redes de abastecimento de água.

BIBLIOGRAFIA

Alegre, H., Coelho, S., Almeida, M., Vieira, P., 2005. “Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição”. ERSAR. Lisboa, Portugal.

Annus, I., Vassiljev, A., 2015. “Different approaches for calibration of an operational water distribution system containing old pipes”. In Anais do 13th Computer Control for Water Industry Conference: 526-534.

Aravinthan, V., Ho, G., Gray, J., Butler, R., Connell, D., 2012. “What are smart meters?” Retrieved from: <https://eprints.usq.edu.au/21068//Aravinthan_Ho_Gray_Butler_Connell_FactSheet_PV.pdf.

Armand, H., Stoianov, I., Graham, N., 2015. “Investigating the impact of sectorized networks on discoloration”. *Procedia Eng.* 119: 407-415.

Ates, S., 2001. “Systems Analysis of Water Supply – Calibration of Hidraulic Pipe Network Models (in German)”. Working Report. Karlsruhe, Germany.

Ates, S., 2006. “Hydraulic simulation – water distribution systems including control elements (in German)”. *Gas, Wasser, Abwasser (GWA)* 86(12): 975-984.

Ates, S., 2009. “Control valves in water distribution networks (in German)”. *WasserWirtschaft* 99(12): 38-42.

Ates, S., 2017. “Hidraulic modelling of control devices in loop equations of water distribution networks”. In Anais do *Journal of Flow Measurement and Instrumentation* 53: 243-260.

Berry J., Boman, E., Riesen, L., Hart, W., Phillips, C., Watson, J., 2008. “User's manual: TEVA SPOT Toolkit 2.0”. Sandia National Laboratories. Albuquerque, NM.

Chambers, K., Creasey, J., Forbes, L., 2004. “Design and operation of distribution networks”. In Ainsworth R (Ed.), *Safe Pipe Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems*. IWA Publishing. London, UK.

Cla-Val (2015a). “D22 pilot controller for position, pressure, flow, and modulation control [online]”. Lausanne, Switzerland.

Cla-Val (2015b). “E-flowmeter for flow measurements based on the vortex shedding phenomenon [online]”. Lausanne, Switzerland.

Cla-Val (2015c). “E-power mp for energy harvesting [online]”. Lausanne, Switzerland.

Coelho, S., Loureiro, D., Alegre, H., 2006. “Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água”. ERSAR. Lisboa, Portugal.

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto – Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

Digiano, F., Zhan, W., 2005. “Pipe section reactor to evaluate chlorine—wall reaction”. In Anais do Journal American Water Working Association 97: 74-85.

DIN EN 736, 1995. “Valves Terminology, Part : Definition of Types of Valves (in German)”. European Committee for Standardization, Brussels.

DIN EN 1074, 2000. “Valves for Water Supply – Fitness for Purpose Requirements and Appropriate Verification Tests, Part 1 – 6 (in German)”. European Committee for Standardization, Brussels.

Drinking Water Inspectorate (2009). “Drinking Water Safety: Guidance to Health and Water Professionals”. London, UK.

Edwards, J., Maher, J., 2008. “Water quality considerations for distribution system storage facilities”. In Anais do Journal of American Water Works Association, Vol.100.

ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos). (2017). Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal. Volume 1 – Caracterização geral do setor de águas e resíduos. Lisboa, Portugal.

ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos). (2017). Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal. Volume 1 – Caracterização geral do setor de águas e resíduos. Anexo 1 – *Benchmarking*. Lisboa, Portugal.

Fantozzi, M., Calza, F., Lambert, A., 2009. “Experience and results achieved in introducing district metered areas (dma) and pressure management areas (pma) at enia utility (Italy)”. In Anais do IWA International Specialised Conference Water Loss. Miya Water, Luxembourg.

Gama, M., Lanfranchi, A., Pan, Q., Jonoski, A., 2015. “Water distribution network model building, case study: Milano, Italy”. In Anais do 13th International Conference on Computing and Control for the Water Industry: 573-582.

Grayman, W., Clark, R., 2013. “Using Computer Models to Determine the Effect of Storage on Water Quality Author(s)”. In Anais do Journal of American Water Works Association, Vol.85. No.7 85: 67-77.

Grilo, T., 2007. “Técnicas de reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137452222/Dissertacao.pdf>

Gunther, M., Camhy, D., Steffelbauer, D., Neumayer, M., Fuchs-Hanusch, D., 2015. “Showcasing a smart water network based on an experimental water distribution system”. In Anais do 13 th Computer Control for Water Industry Conference. Procedia Eng. 119: 450-457.

Hart, W., Murray, R., 2010. “Review of sensor placement strategies for contamination warning systems in drinking water distribution systems”. In Anais do Journal Water Resource Planning and Management. 136(6): 611-619.

Hu, C., Li, M., Zeng, D., Guo, S., 2018. “A survey on sensor placement for contamination detection in water distribution systems”. Wireless Network: 1-15.

Kallesoe, C., Jensen, T., Bendtsen, J., 2017. “Plug-and-Play model predictive control for water supply networks with storage”. In Anais do IFAC PapersOnLine 50(1): 6582-6587.

Kang, D., Lansey, K., 2009. “Real-Time demand estimation and confidence limit analysis for water distribution systems”. In *Anais do Journal Hydraulic Eng (ASCE)* 135(10): 825-837.

Kapelan, Z., Savic, D., Walters, G., 2005. “Optimal sampling design methodologies for water distribution model calibration”. In *Anais do Journal of Hydraulic Engineering* 131:190-200.

Khorshidi, M., Nikoo, Moahammad., Sadegh, M., 2018. “Optimal and objective placment of sensors in water distribution systems using nformation theory”. In *Anais do Water Research Journal* 143:218-228.

Koech, R., Gyasi-Agyei, Y., Randall, T., 2018. “The evolution of urban water metering and conservation im Australia”. In *Anais do Journal of Flow Measurement and Instrumentation* 62: 19-26.

Koppel, T., Vassiljev, A., 2011. “Correction of Demand Patterns on the Basis of Pressure Measurements”. Topping BHV, Iványi P, editors. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Stirlingshire, UK: Civil-Comp Press: 156. doi: 10.4203/ccp.96.156.

Kun, D., Tian-Lu, L., Jun-Hui, W., Jin- Song, G., 2015. “Inversion modelo f water distribution systems for Nodal demand calibration”. In *Anais do Journal Water Resource Planning and Management*. doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000506.

Janke, R., Murray, R., Haxton, T., Taxon, T., Bahadur, R., Samuels, W., Berry, J., Boman, E., Hart, W., Riesen, L., Uber, J., 2017. “Threat Ensemble Vulnerability Assessment - sensor Placement Optimization Tool (TEVA-SPOT)”. *Graphical User Interface User's Manual*, vol. 147. EPA/600/R-08.

Lambert, A., 2009. “Ten years Experience in using the UARL Formula to Calculate Infrastructures Leakage”. *Index IWA Specialist Conference “Water Loss 2009”*. África do Sul.

Laspidou, C., Papergeorgiou, E., Kokkinos, K., Sahu, S., Gupta, A., Tassiulas, L., 2015. “Exploring by clusterin”. *Procedia Eng*. 119: 1439-1446.

Lindell, M., Prater, C., Perry, R., 2006. “Fundamentals of emergency management”. In Federal Emergency Management Agency. Hyattsville, MD.

Liou C., 1998. “Limitations and Proper Use of the Hazen-Williams Equation”. In Anais do Journal of Hydraulic Engineering, Volume 124 (9). doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1998\)124:9\(951\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:9(951)).

Liu, D., Wu, J., Li, N., Li, S., 2013. “Hybrid modelling of distributed water supply networks”. In Anais do 13th IFAC Synposion on Large Scale. Xangai: 111-116.

Loureiro, D., Coelho, S., 2004. “Manual do Utilizador EPANET 2.0 – Simulação hidráulica e de parâmetros de qualidade em sistemas de transporte e distribuição de água”. ERSAR. Lisboa, Portugal.

Machell, J., Boxall, J., 2014. “Modeling and Field Work to Investigate the Relationship between Age and Quality of Tap Water”. In Anais do Journal Water Resources Planning and Management. 140, 4014020. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000383.

Mamede, A., Loureiro, D., Covas, D., Coelho, S., Amado, C., 2013. “Spatial and temporal forecasting of water consumption at the DMA level using extensive measurements”. In Anais do 13 th International Conference on Computing and Control for the Water Industry. Procedia Eng. 70: 1063-107.

Marques, J., Sousa, J., 2008. “Hidráulica Urbana – Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas Residuais”. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal.

Marques, R., Pinto, F., 2018. “How to watch the watchmen? The role and measurement of regulatory governance”. In Anais do Journal Utilities Policy 51: 73-81.

Mays, L., 2000. “Water Distribution Systems Handbook”. 1nd Ed. McGraw-Hill Companies. USA.

Mckay, J., 2005. “Water Institucional Reforms in Australia”. Water Policy 7(2):35-52.

Morosini, A., Constanzo, F., Veltri, P., Savic, D., 2014. “Identification of measurement points for calibration of water distribution network models”. In *Anais do 16th Conference on Water Distribution System Analysis*: 693-701.

Mudumbe, M., Abu-Mahfouz, A., 2015. “Smart Water Meter System for User-Centric Consumption Measurement”. In *Anais do 13 th International Conference on Industrial Informatics*. Cambridge, UK.

Murphy, R.M., 2003. “Managing Stategic Change: An Executive Overview”. Department of Command, Leadership & Manag.- U.S. Army War College. Carlisle Barracks, PA.

Nono, D., Phillimon, T., Odirile, T., Basupi, I., Bhgabat, P., 2018. “The Effect of Hydraulic Performance and Operation Interventions on Water Quality: The case of Phakalane Water Distribution System in Botswana”. *Physics and Chemistry of the Earth* (2018). doi: 10.1016/j.pce.2018.06.005.

Ofwat., 2007. “Security of supply 2006-07” report [online], Birmingham, UK.

Ostfeld, A., Salomons, E., Ormsbee, L., Uber, J., Bros, C., Kalunga, P., 2012. “Battle of the water calibration networks”. In *Anais do Jounal Water Resources Planning and Management* 138(5): 523-532. Retrieved from: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR0.1943-5452.0000191](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR0.1943-5452.0000191).

Paixão, M., 1999. “Águas e Esgotos em Urbanizações e Instalações Prediais”. 2nd Ed. Edições Orion. Portugal.

Pavlov, D., De Wet, C., Grabow, W., Ehlers, M., 2004. “Potentially pathogenic features of heterotrophic plate count bacteria isolated from treated and untreated drinking water”. *International J. Food Microbiol.* 92: 275-287. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2003.08.018.

Pericili, A., Jenkins, J., 2015. “A Review of Current Knowledge: Smart meters and domestic water usage”. Foundation for Water Research. Marlow, Bucks SL7 1FD, UK.

Polebitski, A., Palmer, R., 2010. “Seasonal Residential Water Demand Forecasting for Census Tracts”. In *Anais Journal Water Resource Planning Management* 140: 27-36.

Rasekh, A., Brumbelow, K., 2015. “A dynamic simulation – optimization model for adaptive management of urban water distribution system contamination threats”. In *Anais do Journal Applied Soft Computing* 32: 59-71.

Rathi, S., Gupta, R., 2014. “Sensor placement methods for contamination detection in water distribution networks: a review”. *Procedia Eng.* 89: 181-188.

Roma, J., Pérez, R., Sanz, G., Grau, S., 2015. “Model calibration and leakage assessment applied to a real water distribution network”. In *Anais do 13th Computer Control for Water Industry Conference*. 630-612.

Sanz, G., Pérez, R., 2015. “Comparison of demand calibration in water distribution networks using pressure and flow sensors”. In *Anais do 13th Computer Control for Water Industry Conference*: 771-780.

Sardinha, J., Serranito, F., Donnelly, A., Marmelo, V., Saraiva, P., Dias, N., Guimarães, R., Morais, D., Rocha, V., 2015. “Controlo Ativo de Perdas de Água- EPAL Technical Editions”. 1st Ed. EPAL. Lisboa, Portugal.

Sayyed, M., Gupta, R., Tanyimboh, T., 2014. “Modelling pressure deficient water distribution networks in EPANET”. In *Anais do 16th Conference on Water Distribution System Analysis*. 626- 631.

Savic, D., Kapelan, Z., Jonkergouw, P., 2009. “Quo vadis water distribution model calibration?”. *Urban Water Journal* 6(1): 3-22.

Simões, N., Marques, A., Carvalho, R., 2014. “Modelação Dinâmica em Sistemas de Distribuição de Água”. VII Congresso da Água. APRH. Lisboa, Portugal.

Souza, E., Costa da Silva, M., 2013. “Management system for improving the efficiency of use water systems water supply”. In *Anais do 12 th International Conference on Computing and Control for Water Industry*: 458-466.

Stewart, R., Willis, R., Giurco, D., Panuwatwanich, K., Capati, G., 2010. “Web-based knowledge management system: linking smart metering to the future of urban water planning”. *Aust. Planner* 47(2): .66-74.

Vassiljev A., Koor M., Koppel T., 2015. Real-time demands and calibration of water distribution systems. In *Engineering Software* 89: pp. A1.108-A1.113.

Vassiljev, A., Koppel, T., 2013. “Use of the Real-Time Demands for Calibration of Water Distribution Systems”. In: Topping BHV, Iványi P, editors. *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Stirlingshire, UK: Civil-Comp Press: 233. doi: 10.4203/ccp.102.233.

Walker, D., Creaco, E., Vamvakeridou-Lyroudia, L., Farmani, R., Kapelan, Z., Savié, D., 2015. “Forecasting domestic water consumption from smart meter readings using statistical methods and artificial neural networks”. *Procedia Eng.* 119: 1419-1428.

Wang, R., Wang, X., Yang, H., Sun, J., 2014. “Pipe burst risk state assessment and classification based on water hammer analysis for water supply networks”. In *Anais do Journal Water Resource Planning Management* 140(2). Retrieved from: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000404](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000404).

Wright, R., Abraham, E., Parpas, P., Stoianov, I., 2015. “Control of water distribution networks with dynamic DMA topology using strictly feasible sequential convex programming”. *Water Resources. Research* 51: 9925-9941.

Wright, R., Stoianov, I., Parpas, P., Henderson, K., King, J., 2014. “Adaptive water distribution networks with dynamically reconfigurable topology”, *Journal Hydroinf.* 16(6): 1280-1301.

Xhafa, S., Avdullahu, I., Ahmeti, M., 2016. “Automation control on water supply networks”.
IFAC Papers OnLine: 49-29, 175-179.

ANEXOS

