

Modelação e Calibração da Rede de Abastecimento de Água de Reguengos de Monsaraz

Modelling and Calibration of the Water Distribution Network of Reguengos de Monsaraz

Paulo CHAVEIRO¹, Jorge M. G. P. ISIDORO²

¹ Serviço de Águas e Saneamento Básico, Município de Reguengos de Monsaraz, Reguengos de Monsaraz, Portugal, associado n.º 1624 da APRH, pchav0@gmail.com

² Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Faro, Portugal / Centro de Ciências do Mar e do Ambiente (MARE), Coimbra, Portugal, associado n.º 1417 da APRH, jisidoro@ualg.pt

RESUMO: O acesso à água potável é essencial ao ser humano. Contudo, esta acessibilidade não é universal, existindo profundas assimetrias na sua distribuição, facilmente identificáveis por países ou regiões. Nos países mais desenvolvidos, é comum que a distribuição de água potável, normalmente sujeita a tratamento que permita a garantia da sua qualidade até ao consumidor, seja realizada por meio de redes de distribuição constituídas essencialmente por condutas e elementos acessórios. A gestão, manutenção e operação destas redes é, em Portugal, da responsabilidade das comumente designadas por Entidades Gestoras (EG). Com vista a assegurar a sustentabilidade económica, financeira e ambiental dos sistemas públicos de abastecimento, a gestão eficiente das redes de distribuição de água é assim uma obrigação para qualquer EG. No caso da cidade de Reguengos de Monsaraz, a gestão do sistema de abastecimento de água que serve 7261 habitantes é da competência do Município de Reguengos de Monsaraz. Neste sistema, a rede de distribuição mostra sinais de envelhecimento, com válvulas de seccionamento inoperacionais, com problemas de roturas frequentes, uma rede possivelmente subdimensionada e com patamares piezométricos que levam a algumas situações de variação na pressão de conforto na cidade. Assim, e com o objetivo de melhor se conhecer o funcionamento hidráulico desta rede para aperfeiçoar a gestão da mesma, foi executada a modelação e calibração hidráulica da rede de distribuição de água com recurso ao software EPANET 2.2. A calibração foi efetuada com base nos dados de caudal de entrada na rede bem como de uma campanha, especificamente realizada para este trabalho, de medição da pressão em 20 pontos de leitura que permitiu uma correta caracterização da evolução espacial e temporal da pressão na rede. O modelo de simulação permitiu testar novas soluções para a gestão da rede, como por exemplo a simulação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC) com o objetivo de informar a EG para a produção de trabalhos que visem a redução das perdas reais de água. Os autores esperam com este trabalho contribuir para uma melhoria do funcionamento do sistema de abastecimento de água à população da cidade de Reguengos de Monsaraz, conferindo assim maior sustentabilidade económica, financeira e ambiental ao sistema.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento de água, Modelação hidráulica, EPANET 2.2, Zonas de Medição e Controlo (ZMC), Reguengos de Monsaraz.

ABSTRACT: Access to drinking water is essential for human beings. However, this accessibility is not universal, with profound asymmetries in its distribution, easily identifiable by countries or regions. In the more developed countries, it is common that the distribution of drinking water, normally subject to some degree of treatment to guarantee its quality until it reaches the consumer, is carried out through distribution networks consisting essentially of pipes and accessories. The management, maintenance and operation of these networks is, in Portugal, of the responsibility of management entities commonly known as Entidades Gestoras (EG). To ensure the economic, financial and environmental sustainability of public supply systems, the efficient management of water distribution networks is thus an obligation for any EG. In the case of the city of Reguengos de Monsaraz, the management of the water supply system serving 7261 inhabitants is of the responsibility of the Municipality of Reguengos de Monsaraz. In this system, the distribution network shows signs of aging, with inoperative sectioning valves, frequent ruptures, a possibly undersized network and with piezometric level fluctuations leading to a variation in the comfort pressure in the city. Thus, and to better understand the hydraulic behaviour of this network and ultimately to better manage it, EPANET 2.2 software was used to model and calibrate the water distribution network. The calibration was performed based on the total inflow into the network as well as on a campaign, specifically carried out for this work, to measure the pressure at 20 points that allowed a correct characterisation of the spatial and temporal evolution of the pressure in the network. The simulation model enabled testing new solutions for network management, such as the simulation of District Metered Areas (DMA) with the goal of reducing real losses. The authors hope with this work to contribute to an improvement of the water supply system serving the population of the city of Reguengos de Monsaraz, thus conferring greater economic, financial and environmental sustainability to the system.

Keywords: Water supply systems, Hydraulic modelling, EPANET 2.2, District Metered Areas (DMA), Reguengos de Monsaraz.

Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 42, N.º 1, 41-48 março de 2021.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh42n1-cti5

1. INTRODUÇÃO

Desde sempre a água é um recurso essencial para o desenvolvimento da humanidade, sendo por isso considerada como elemento-base para toda uma sociedade. Devido ao crescimento demográfico das povoações e subsequente aumento das necessidades hídricas para o abastecimento público e à indústria, no que à água potável diz respeito, houve a necessidade de se desenvolverem novas formas de pensar a gestão da distribuição de água. Futuramente qualquer investimento no setor da distribuição de água dependerá: i) da melhoria da qualidade das massas de água; ii) da expansão da malha urbana e subsequente aumento da concentração populacional (Souza e Costa da Silva, 2013; Liu *et al.*, 2013; Roma, 2015; Veldkamp *et al.*, 2017; Hajibabaei *et al.*, 2019). Este último ponto acarreta o aumento da vulnerabilidade a interrupções involuntárias dos serviços devido aos colapsos das infraestruturas de captação, adução, tratamento e armazenamento de água. Na tentativa de melhorar a capacidade de conhecimento sobre as infraestruturas a seu cargo, as entidades gestoras (EG) verificam ser crucial a criação de modelos hidráulicos das redes de abastecimento de água e o desenvolvimento de políticas efetivas no combate, e conseqüente redução, às perdas de água (Farley & Trow, 2003; Arregui *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2020). Também a utilização de dados recolhidos através de sistemas inteligentes de medição de água e de gestão de clientes para o desenvolvimento de modelos de consumo, nomeadamente na perceção das pontas de consumo, são prática normalizada nas EG mais eficientes e abertas à inovação (Gomes *et al.*, 2012; Savic *et al.*, 2014; Nguyen *et al.*, 2018; Heydari *et al.*, 2020). Nesta perspetiva, os municípios do Alentejo Central, através da Comunidade Intermunicipal do Alentejo Central (CIMAC), comunidade constituída por catorze pequenos municípios e servindo uma população aproximada de 166000 habitantes, têm investido no conhecimento infraestrutural da rede de abastecimento de água, tendo criado a plataforma SIGREDES com cadastro da rede de abastecimento de água georreferenciado e com toda a informação permanentemente atualizada. Os dados do Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal 2020 (RASARP 2020) mostram que as EG do Alentejo Central necessitam adequar estratégias de ação e de investimento para proporcionarem uma correta operacionalização dos sistemas com o objetivo último de assegurarem a gestão eficiente dos seus sistemas de abastecimento de água. Neste sentido, o estudo efetuado teve como objetivo

simular o funcionamento hidráulico da rede de distribuição de água da cidade de Reguengos de Monsaraz através da elaboração de um modelo hidráulico da rede de distribuição de água, a subsequente avaliação da rede e processamento de ajustes do modelo, de forma a torná-la eficiente na sua capacidade de fornecimento de água, em momentos de ponta de consumo, com pressões de conforto. De seguida e como processo de apoio para a redução de perdas reais de água, através do controlo ativo de perdas no futuro, procedeu-se à delimitação de Zonas de Medição e Controlo (ZMC), a elaboração de propostas de alterações, a nível dos diâmetros nominais, de condutas com vista a melhorar a distribuição de pressões de serviço e por fim analisar a influência da atividade laboral do grande consumidor na pressão de serviço na zona residencial envolvente.

2. CARATERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

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 de 75.86 km, dos quais 46% em fibrocimento e 54% em PVC, com 4266 ramais executados, mas somente 3410 consumidores ativos. A rede é abastecida por quatro reservatórios: i) Moinho de Vento; ii) Moinho de Vento Elevado; iii) Outeiro do Barro Velho e iv) Outeiro do Barro Novo, permitindo uma capacidade de armazenamento conjugada de 4400 m³. Os Reservatórios do Outeiro do Barro, Velho e Novo, localizam-se a Norte da cidade à cota 251.36 m, os Reservatórios de Moinho de Vento e Moinho de Vento Elevado situam-se a Sudeste à cota 240.75 m e à cota 260.32 m respetivamente. A rede de abastecimento em “baixa” da cidade de Reguengos de Monsaraz possui condutas de 200 mm que aduzem a água entre os Reservatórios do Outeiro do Barro Velho e Moinho de Vento para a subsequente entrega na rede de distribuição, abastecendo 85% da cidade. Para abastecer a zona elevada da cidade a rede de distribuição inicia-se a jusante do ponto de entrega “em alta”, Reservatório do Moinho de Vento Elevado, abastecendo-se assim a restante cidade. O Reservatório do Outeiro do Barro Novo, de gestão em “alta” serve de sistema de equalização para abastecer os concelhos de Reguengos de Monsaraz e Mourão. Os Reservatórios

do Outeiro do Barro Velho e Novo assim como o Reservatório de Moinho de Vento Elevado são da propriedade da Sociedade Águas de Vale do Tejo, sendo o Reservatório de Moinho de Vento de propriedade municipal.

Tabela 1. Dados das infraestruturas base da rede de abastecimento de água de Reguengos de Monsaraz (ERSAR, 2020).

Rede de abastecimento de água do concelho (km)		159.20
Rede de abastecimento de água à cidade (km)	Fibrocimento	30.18
	PVC	45.68
	Total	75.86
N.º de ramais de ligação		4266
N.º de consumidores		3410
Volume de armazenamento (m ³)		4400
Perdas reais (%)		10.9

De acordo com a avaliação da qualidade do serviço executada pela Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) em 2020, a rede de distribuição de água teve perdas reais de 10,9% e um índice de água não faturada de 31,9%. Estes valores indicam sinais de uma rede envelhecida e com problemas de resistência dos materiais, o que se verifica através de um maior número de roturas na rede executada em fibrocimento, bem como na rede em PVC com mais de 25 anos. Por estes motivos, alguns setores da rede têm uma maior incidência de roturas e consequentes perdas físicas, para além de um elevado número de válvulas que não estão operacionais, ou não estão devidamente operacionais, por falta de um plano de manutenção; contudo, desde 2009 a EG tem vindo a realizar alguns trabalhos para substituição de equipamentos de manobra. Alguns setores nas zonas mais antigas da cidade tendem a ter baixos índices de pressão, pelo que a EG aponta para três possíveis causas: 1) o subdimensionamento dos diâmetros para os consumos atuais da rede nessas áreas, 2) a colmatção das condutas de ramal com sedimentos e biofilme, e 3) a degradação das redes prediais. Por outro lado, a rede apresenta atualmente uma deficiente organização hidráulica, consequência direta da alteração dos pontos de entrega. Originalmente o ponto de entrega de água no sistema era efetuado através de um complexo de extração de águas subterrâneas a Este da cidade, encontrando-se aí e nas áreas adjacentes as condutas de maior diâmetro (150 mm) e subsequente redução deste consoante a necessidade de adução. Com a alteração para os

pontos de entrega atuais, nos anos 80 do século passado, o sentido de fluxo de entrada do sistema mudou, e com isso toda a configuração hidráulica, pelo que atualmente vemos, em determinados troços, condutas de menor diâmetro a montante das de maior diâmetro.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a modelação hidráulica da rede de abastecimento foi utilizado o software EPANET 2.2. O modelo da rede foi criado com base na transposição e validação dos dados físicos e topológicos do cadastro georreferenciado, devidamente atualizados, numa operação que desenvolveu a validação/correção da: a) designação, cota e consumo base de 2122 nós, b) designação, comprimento, diâmetro interno e rugosidade em cada um dos 1441 troços, c) designação, diâmetro, tipo de válvula e identificação, por tabela, do coeficiente de perda de carga singular para as 775 válvulas, e d) designação, tipo de reservatório, cota piezométrica, área da célula, altura mínima, máxima e inicial dos quatro reservatórios.

Para a calibração do modelo foi essencial a recolha de dados de consumos globais da cidade, através da recolha dos consumos horários da água distribuída a partir dos reservatórios, assim como o registo dos níveis dos reservatórios e das suas flutuações diárias, utilizando para tal o sistema de telegestão/telemetria da EG. Para melhor conhecer os valores e flutuações de pressão na rede, para efeitos de calibração do modelo de simulação, o Município de Reguengos de Monsaraz adquiriu quatro sondas com registadores (loggers) incorporados amovíveis, modelo "Track-It™". Estes são registadores de dados compactos, alimentados por bateria e à prova de água, que armazenam dados de pressão e temperatura até 64000 leituras, o que permitiu a realização do levantamento das pressões em vários locais da cidade. Assim, com base nos dados de caudal de entrada na rede de distribuição, e de uma campanha especificamente realizada para este trabalho de medição e registo da pressão em 20 pontos e a cada 20 minutos, durante um período de seis dias, conseguiram-se dados robustos para a calibração do modelo. Para a localização dos pontos de medição foram tidos em atenção os grandes consumidores, a topografia do terreno, bem como a tipologia e idade das condutas, por forma a que os pontos de medição fossem representativos da rede. Os dados foram posteriormente tratados, calculando-se as médias de pressão e consumo, por hora, para as 72 horas da campanha (Figuras 1 e 2). Com base nos dados recolhidos foram também

definidos padrões de consumo para: a) consumos domésticos, b) indústria, c) grandes consumidores, e d) parque da cidade (espaço verde de lazer da cidade). Os padrões de consumos horários foram estabelecidos para os dias úteis e fins-de-semana, para além de consumos base nos nós com base nos dados de faturação da EG. Contudo, como as variações dos consumos eram similares entre dias úteis e fins de semana, optou-se por considerar somente o padrão de consumo referente aos dias úteis para a construção do modelo. Foram também definidos, com base nos dados de faturação da EG, os consumos associados aos grandes consumidores CARMIM (2.32 l/s) e matadouro (0.82 l/s), Parque da Cidade (0.50 l/s), zona industrial (0.53 l/s), aldeia de Perolivas (1.80 l/s), bairros residenciais, escolas e supermercados, utilizando os dados de faturação e definindo a média para o consumo base por nó nas respetivas áreas, totalizando um consumo médio diário de 14.57 l/s.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após correr a primeira simulação do modelo constatou-se que os dados recolhidos eram bastante robustos, para a calibração do modelo, pois dos 20 pontos de recolha de dados somente se verificou o desfasamento superior a 10% dos valores de pressão observados e simulados em três pontos, tendo em conta o critério considerado como correto para a calibração deste estudo ser um diferencial por ponto, entre o dado medido e dado

simulado, \leq a 10% (Tabela 2). Para a calibração das pressões nos pontos de medição foram adotadas duas abordagens: a) a alteração dos consumos nos pontos de monitorização e nós envolventes, e b) a alteração da rugosidade das condutas. Na Praceta Sá Carneiro, foram utilizadas as duas soluções na tentativa de aproximar o registo das pressões horárias entre o simulado e o observado. Após várias iterações e simulações considerou-se adequada a redução do caudal em cinco dos nós, que resultaram num pequeno aumento da pressão nos mesmos, que à partida pareceriam pouco significativos. A não alteração do valor da pressão nas diferentes simulações para a Praceta Sá Carneiro veio reforçar a convicção de que os valores do coeficiente da rugosidade estavam corretos, mas provavelmente existirá um erro no valor observado da pressão. No ponto de medição Parque da Cidade, e face ao material das condutas (PVC) e à idade das mesmas, optou-se por não se alterar a rugosidade nas condutas. Simulações com distintos valores para os consumos base permitiu constatar que os resultados com menores erros, entre as pressões medidas e simuladas, correspondiam a consumos base entre os 3 e os 4 l/s. No entanto, esta magnitude de consumos corresponderia a aproximadamente 30% dos consumos médios diários totais aduzidos à cidade de Reguengos de Monsaraz, situação difícil de definir como correta por via de somente termos dados mensais de consumo deste parque. Inevitavelmente, tal levaria à alteração das condições reproduzidas pelo modelo nos restantes

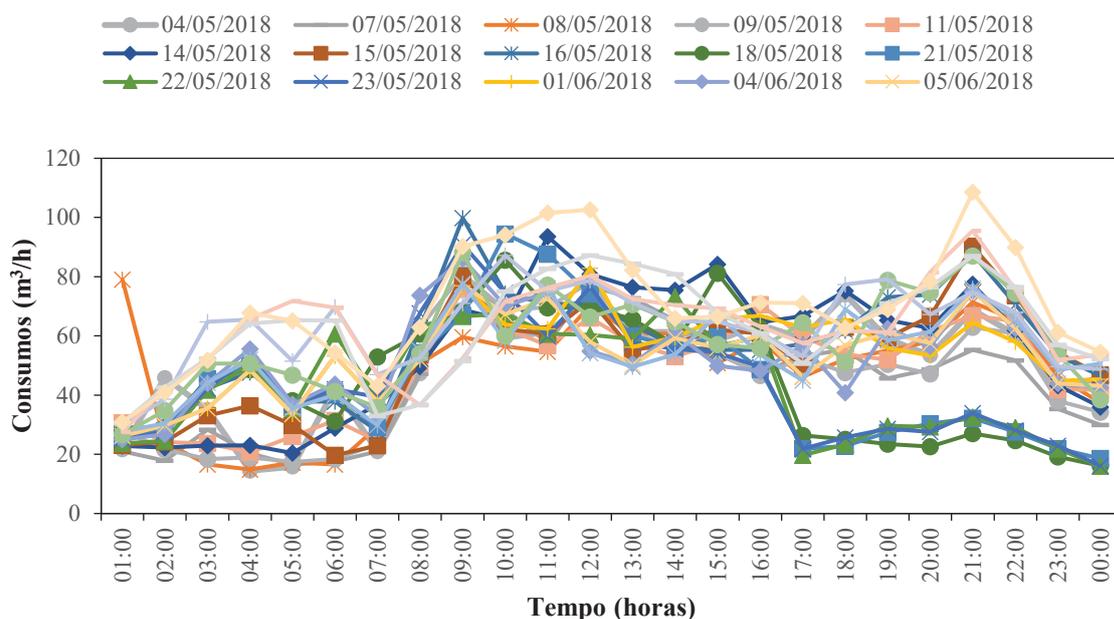


Figura 1. Evolução dos consumos diários, nos dias úteis, em Reguengos de Monsaraz.

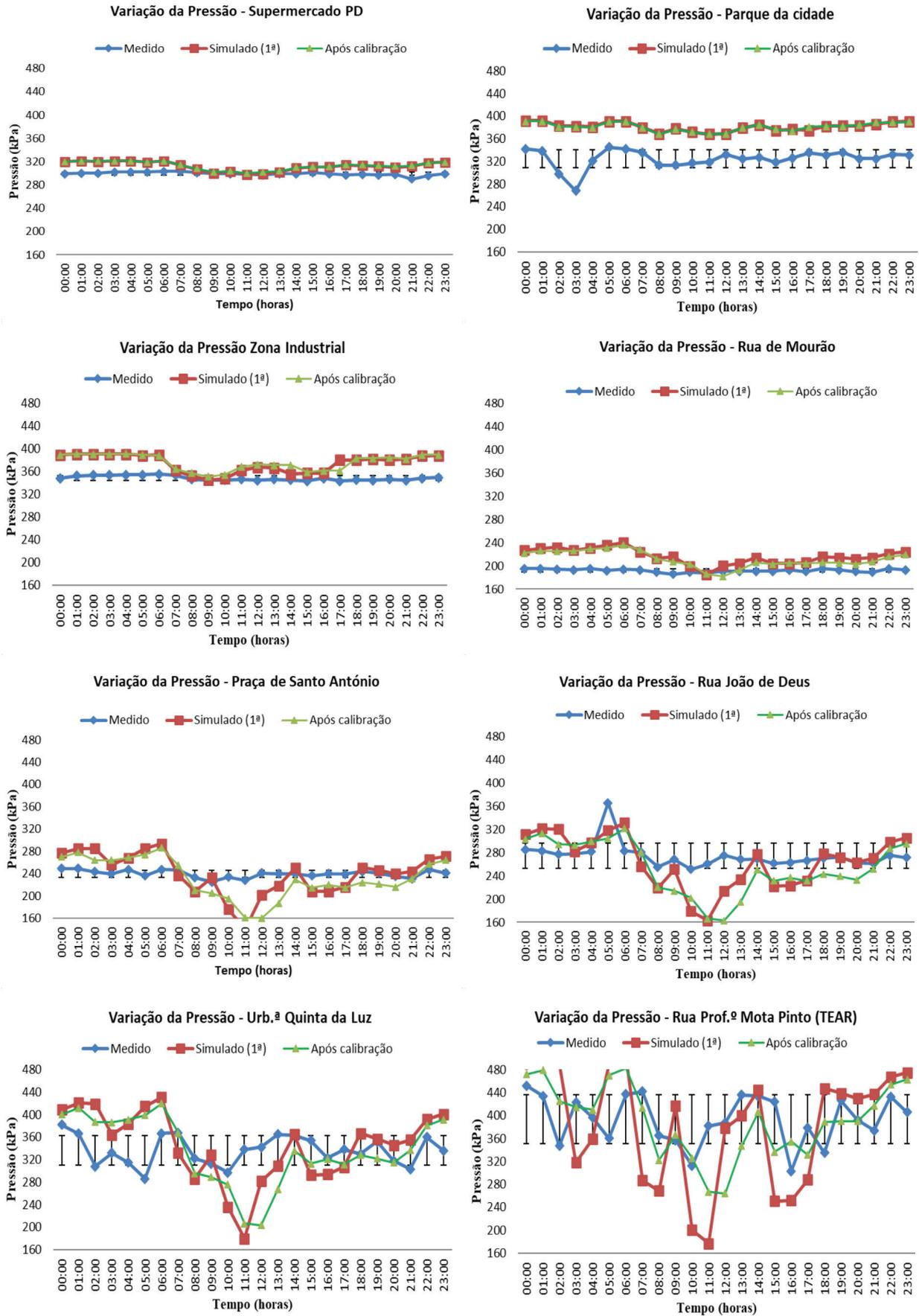


Figura 2. Comparação entre as pressões medidas e simuladas (pré-calibração e pós-calibração) com a apresentação do desvio padrão para as pressões medidas.

nós da rede, globalmente muito satisfatórias, nomeadamente nos nós mais próximos da rede de distribuição da cidade. Assim, e face aos dados de consumo mensal deste ponto foi considerado o consumo base de 0.50 l/s, tendo em conta a incerteza subjacente ao conhecimento do padrão de consumo adotado na rega para este espaço verde. No ponto de medição Praça da Liberdade o erro entre a pressão observada e simulada está acima do patamar considerado como aceitável (em mais de 16%), ao qual se associa a uma possível deficiência da leitura do registador considerando-se, para o modelo, a variação de pressão definida pela simulação como válida.

Tabela 2. Diferença entre pressões observadas, pós-calibração, e simulada para os 20 pontos monitorizados (a verde as diferenças de pressão com o erro dentro do intervalo considerado como aceitável).

Pontos de Monitorização	Erro (%)	Pontos de Monitorização	Erro (%)
Carapetal	5	Praça de Santo António	0
Supermercado PD	4	Praça da Liberdade	26
Praceta Sá Carneiro	16	Avenida Vitor Martelo	0
Urb. ^a Monsaraz	5	Rua João de Deus	3
Br António Sérgio	4	Rua de Lisboa	4
Parque da Cidade	17	Urb. ^a Quinta Nova	1
Zona Industrial (Perolivas)	6	Urb. ^a Quinta da Luz	3
Zona Industrial	7	Rua Professor Mota Pinto (TEAR)	3
Rua de Mourão	10	Rua dos Mendes	1
Rua Luís de Camões	1	Zona dos Mendes	1

Com o modelo hidráulico calibrado e após análise dos resultados podemos observar que o sistema de abastecimento de água é capaz de satisfazer as necessidades atuais dos consumidores/utilizadores abastecidos pela rede de água da cidade de Reguengos de Monsaraz. Verifica-se que em mais de 80% da rede, e durante mais de 14 horas por dia, as velocidades de escoamento são inferiores a 0.10 m/s, sendo que durante a noite as velocidades são inferiores a 0.05 m/s em mais de 90% da rede. As pressões de serviço cumprem com o exigido pela legislação durante as 24 horas do dia com pressões em geral entre os 200 kPa e os 400 kPa durante o dia, sendo o máximo e mínimo admitidos pelo regulamento 600 kPa e 140 kPa respetivamente. As flutuações diárias da pressão de serviço na rede são também sempre abaixo dos 300 kPa admitidos pelo regulamento.

Analisando alguns casos concretos podemos constatar que as velocidades de escoamento no troço da Zona Industrial variam, durante o dia, entre os 0.12 a 0.90 m/s. Já todo o troço que abastece o grande consumidor (CARMIM), bem como na saída dos reservatórios de água, as velocidades são superiores ou iguais a 0.7 m/s, principalmente nos períodos de ponta de consumo (entre as 8:00 - 12:00, 14:00 - 16:00 e 20:00 - 22:00). Relativamente à pressão de serviço, nos períodos de ponta de consumo, varia entre os 140 a 170 kPa no centro histórico (abastecido pelo Reservatório Moinho de Vento) e entre os 300 a 360 kPa nas áreas abastecidas pelos Reservatórios de Moinho de Vento Elevado e Outeiro do Barro Velho. A área da cidade denominada Aldeia de Cima apresenta-se como o ponto mais crítico, com variações de pressão entre os 65 e os 170 kPa. Relativamente ao impacto do grande consumidor nas áreas urbanas adjacentes podemos confirmar a sua elevada influência, nomeadamente entre as 10:00 e as 12:00 e entre as 14:00 e as 16:00, com reduções abruptas nas pressões de serviço, de até 150 kPa, como podemos constatar na Figura 2 (nos pontos Urb.^a Quinta da Luz e Rua Prof.^a Mota Pinto). Como a legislação em vigor exige diâmetros mínimos para as condutas da rede de distribuição, existe sempre uma condicionante para o cumprimento das velocidades de escoamento. Por exemplo, se os diâmetros fossem reduzidos para atender aos requisitos mínimos de velocidade de escoamento, mais de 70% da rede estaria abaixo do diâmetro mínimo legalmente exigido.

Com a criação das quatro ZMC, como possível cenário da melhoria da eficiência hidráulica da rede e do controlo das perdas reais, alcançada principalmente pela operação de válvulas já instaladas, os dados mostram-nos que os níveis globais da pressão de serviço variam entre os 200 a 388 kPa. Na área mais crítica, a Aldeia de Cima, a pressão de serviço aumenta significativamente nos horários de ponta de 65 para 233 kPa. Já a Zona dos Mendes necessita da colocação de uma válvula redutora de pressão pois a pressão de serviço apresenta-se sempre acima dos 400 kPa. As velocidades de escoamento não sofrem alterações importantes com as alterações preconizadas, ficando ainda abaixo, em média, dos valores mínimos regulamentares. A Figura 3 permite a análise e comparação entre patamares de pressão antes e após as alterações referidas, *i.e.*, conseguidas através da implementação das ZMC. De uma forma geral, com esta configuração de ZMC proposta torna-se possível atingir o objetivo que era o de aumentar a pressão de serviço na área urbana, sem atingir, em regra, valores acima dos desejados (350 kPa).

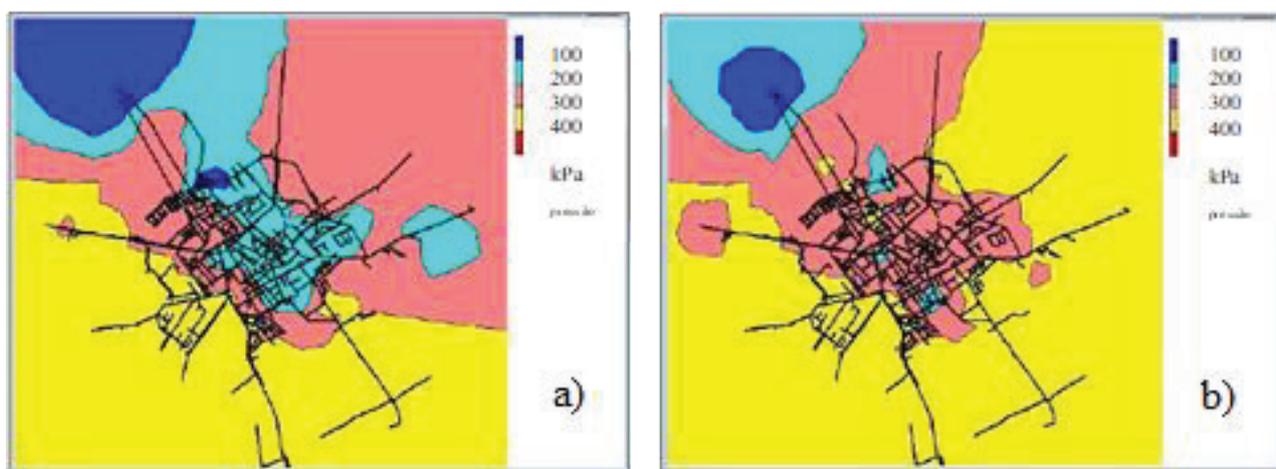


Figura 3. Exemplo de níveis da pressão de serviço na rede de abastecimento de água às 11:00, em dias de semana: a) antes da implementação da ZMC; b) após a implementação da ZMC.

5. CONCLUSÕES

Tendo como base o trabalho desenvolvido, pode verificar-se a existência de falhas no desempenho hidráulico da rede de distribuição de água da cidade de Reguengos de Monsaraz, no que diz respeito aos parâmetros de pressão, velocidade de escoamento, e também de caudal, tendo em conta o projetado aquando da execução desta rede, para além da deficiente organização hidráulica de alguns elementos da rede de distribuição e de manobra. Os pressupostos a que o trabalho se propôs foram atingidos, nomeadamente a criação e calibração do modelo hidráulico da rede de distribuição água, a sua avaliação, e o estudo de alternativas para a melhoria da sua eficiência através da criação de ZMC, que permitissem assim atingir uma melhor distribuição espacial e temporal das pressões de serviço. Os dados extraídos e o conhecimento adquirido sobre esta rede tornam este estudo numa mais-valia para a EG, tendo-se exemplificado a importância da utilização de modelos hidráulicos dos sistemas de abastecimento de água. O caso de estudo de Reguengos de Monsaraz poderá servir de caso modelo, demonstrando que a união de esforços entre várias pequenas entidades e/ou municípios para o registo cadastral das redes de distribuição de água (CIMAC / SIGREDES) permitiram a estruturação de um modelo de simulação que contribui para o desenvolvimento mais sustentável, algo que isoladamente não seria possível por falta de recursos humanos, técnicos e económicos. Por fim, foram ainda sugeridas algumas recomendações à EG, o Município de Reguengos de Monsaraz, nomeadamente no que respeita à possibilidade de alteração do troço que

abastece o grande consumidor de modo a reduzir a sua influência direta da diminuição da pressão nas áreas habitacionais adjacentes nas horas de ponta, a execução da delimitação das ZMC propostas, esta última entretanto aceite e em fase de implementação pela EG, e subsequente alteração de pontos de fornecimento de água, bem como um eficaz serviço de controlo ativo de perdas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arregui F, Cobacho R, Soriano J, Jimenez-Redal R (2018) Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system: *Water*, 10 (12), 1809
- ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos) (2020) Relatório Anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal – Volume 1 – Caracterização geral do setor de águas e resíduos, Lisbon
- Farley M, Trow S (2003) *Losses in water distribution networks: a practitioner's guide assessment, monitoring and control*: IWA Publication, London
- Gomes R, Sá Marques A, Sousa J (2012) Identification of the optimal entry points at District Metered Areas and implementation of pressure management: *Urban Water Journal*, 9 (6), 365-384
- Hajibabaei M, Nazif S, Sitzenfreni R (2019) Improving the performance of water distribution networks based on the value index in the system dynamics framework: *Water*, 11 (12), 2445

- Heydari S, Mamizadeh J, Sarvarian J, Ahmadi G (2020) Optimization of water distribution networks using developed binary genetic algorithm and hydraulic model software: *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7 (1), 30-35
- Liu D, Wu J, Li N, Li S (2013) Hybrid modelling of distributed water supply network: *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (13), 111-116
- Murphy R (2003) Managing strategic change: an executive overview: Department of Command, Leadership & Management. – U.S. Army War College, Carlisle Barracks, BA, EUA
- Nguyen K, Stewart R, Zhang H, Sahin O, Siriwardene N (2018) Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics: *Environmental Modelling & Software*, 101, 256-267
- Roma J, Pérez R, Sanz G, Grau S (2015) Model calibration and a leakage assessment applied to a real water distribution networks: *Procedia Engineering*, 119, 603-612
- Savic D, Vamvakeridou-Lyroudia L, Kapelan Z (2014) Smart meters, smart water, smart societies: the iWidget project: *Procedia Engineering*, 89, 1105-1112
- Sousa J, Martinho N, Muranho J, Sá Marques A (2020) Leakage calibration in water distribution networks with pressure-driven analysis: A real case study: *Environmental Sciences Proceedings*, 2 (1), 59
- Souza E, Costa da Silva M (2013) Management system for improving the efficiency of use water systems water supply: *Procedia engineering*, 70, 458
- Veldkamp T, Wada Y, Aerts P, Doll S, Gosling S, Liu J, Masaki Y, Oki T, Ostberg S, Pokhrel Y, Satoh Y, Kim H & Ward P (2017) Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century: *Nature Communications*, 8, 15697.