

MODELAÇÃO MATEMÁTICA:

Planeamento da setorização e regulação da pressão para redução das perdas reais de água

Ana CARVALHO¹; Nuno de SANTA MARIA²; Joana CASTRO³; Nuno MONTEIRO⁴; Raquel NETO⁵

RESUMO

Neste trabalho aborda-se a modelação matemática do sistema de abastecimento de água como estratégia fundamental para a setorização da rede em zonas de medição e controlo (ZMC) e aferição do impacto da redução da pressão na redução das perdas reais de água.

A modelação permite identificar onde e como intervir; a setorização fornece os dados necessários para validar e ajustar os modelos e agir mais rapidamente em áreas de pequena dimensão, nomeadamente na pesquisa de fugas com recurso a geofone; e a regulação da pressão atua como medida corretiva e preventiva e permite por si só a redução de perdas.

A eficácia da modelação depende da existência de uma base de dados fiável, um sistema de informação geográfica constantemente atualizado e uma modelação ágil e rápida, se possível alimentada por sistemas de monitorização, telemetria e telegestão.

Este trabalho baseia-se na implementação de exemplos práticos de como a modelação hidráulica ajudou a identificar o potencial de redução das perdas reais e, conseqüentemente, a melhorar a qualidade do serviço e a sustentabilidade financeira dos SMAS da Maia, num contrato que a Luságua, grupo Aquapor, se encontra a desenvolver, já num cenário de valores de perdas reais de água bastante otimizado.

Palavras-chave: Perdas Reais de Água, Modelação Hidráulica, Setorização da Rede, Regulação de Pressão, Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

1 - Eng. Civil, Responsável de Apoio às Operações e Consultoria Especializada, Aquapor, anacarvalho@aquaporservicos.pt

2 - Eng. Civil, Gestor de contrato, Luságua, nunoribeiro@lusagua.pt

3 - Eng. Civil, Gestora de projeto, Aquapor, joanacastro@aquaporservicos.pt

4 - Eng. Geoespacial, Responsável de SIG e Gestão de Ativos, SMAS da Maia, Nuno.Monteiro@smasmaia.pt

5 - Eng. Civil, Chefe da Divisão de Obras de Empreitada, SMAS da Maia, raquel.neto@smasmaia.pt

1. ENQUADRAMENTO

Os Serviços Municipalizados de Água e Saneamento da Maia (SMAS da Maia) são responsáveis pela distribuição de água potável e pela recolha, drenagem e tratamento das águas residuais no município da Maia. Têm como missão garantir a qualidade e a eficiência dos serviços de água e saneamento do município.

Há cerca de 6 anos foi implementado no município um contrato para melhoria da eficiência hídrica no município, com ótimos resultados. Com o fim deste contrato, foi lançado novo concurso, recentemente atribuído à Luságua, grupo Aquapor, já num cenário de água não faturada muito otimizado.

A modelação matemática constitui a base analítica para a compreensão do comportamento hidráulico da rede. Através da construção e calibração de modelos hidráulicos, é possível simular diferentes cenários operacionais, identificar zonas críticas com maior propensão a perdas, testar intervenções de setorização, regulação de pressão e reabilitação.

Este trabalho explica exemplos práticos de como a modelação hidráulica do sistema de abastecimento de água da Maia ajudou a Luságua a:

- a identificar o potencial de redução das perdas reais a identificar as medidas que efetivamente têm impacto nas mesmas;
- a verificar e planear a setorização da rede em zonas de medição e controlo (ZMC)

2. A MODELAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA MAIA

2.1. Dados de base

Para modelação hidráulica foi usado o programa Epanet 2.2 em inglês. As opções hidráulicas usadas foram:

- Unidades em litros por segundo
- Fórmula de cálculo de perda de carga – Hazen-Williams

Os SMAS da Maia dispõem de cadastro em sistema SIG totalmente implementado em sistema ESRI, e foi precisamente esse cadastro que serviu de base à modelação hidráulica.

2.2. Exportação da infraestrutura para ficheiro .inp

Foi feita uma primeira exportação dos elementos de cadastro SIG para ficheiro .inp que não era utilizável devido ao nome dos elementos ter mais caracteres do que os necessários.

Foi feita uma nova exportação corrigida e foi verificado que, onde não havia interceções, não foram criados nós nas condutas. Esta situação resultava em extensões por vezes superiores a 1 km sem qualquer nó, o que dificultava bastante a análise.

Mais uma vez foi alterada a exportação, de modo a conseguir colocar nós em todos os ramais de consumo. Deste modo, não existiriam largos troços de conduta sem qualquer nó.

Esta exportação permitiu ter os seguintes tipos de infraestrutura no ficheiro:

- Reservatórios;
- Bombas;
- Tubagens;
- Válvulas,

No entanto, os reservatórios e bombas não se encontravam conectados com as tubagens, situação que teve de ser corrigida manualmente no próprio programa EPANET. Para além disso, as bombas tiveram de ser orientadas no sentido de escoamento certo, de montante para jusante, uma vez que algumas delas, apesar de desenhadas no SIG no sentido certo, não apareciam certas no ficheiro .inp.

As características de cada uma das infraestruturas que migraram diretamente para o ficheiro .inp foram:

- Reservatórios: ID, descrição, localização;
- Bombas: ID, descrição, localização, estado inicial;
- Tubagens: ID, localização, comprimento, diâmetro, rugosidade, estado inicial, ZMC;
- Válvulas: ID, localização, tipo (sejam de seccionamento (TCV), sejam redutoras de pressão (PRV)), diâmetro, estado.

As características de cada uma das infraestruturas que foram acrescentadas manualmente foram:

- Reservatórios: altura de água;
- Bombas: curva;
- Válvulas: ponto de funcionamento (pressão a jusante no caso das VRP).

O sistema de abastecimento de água já dispunha de delimitação de algumas zonas de medição e controlo (ZMC), pelo que as infraestruturas foram etiquetadas com labels para identificar a ZMC a que pertenciam.

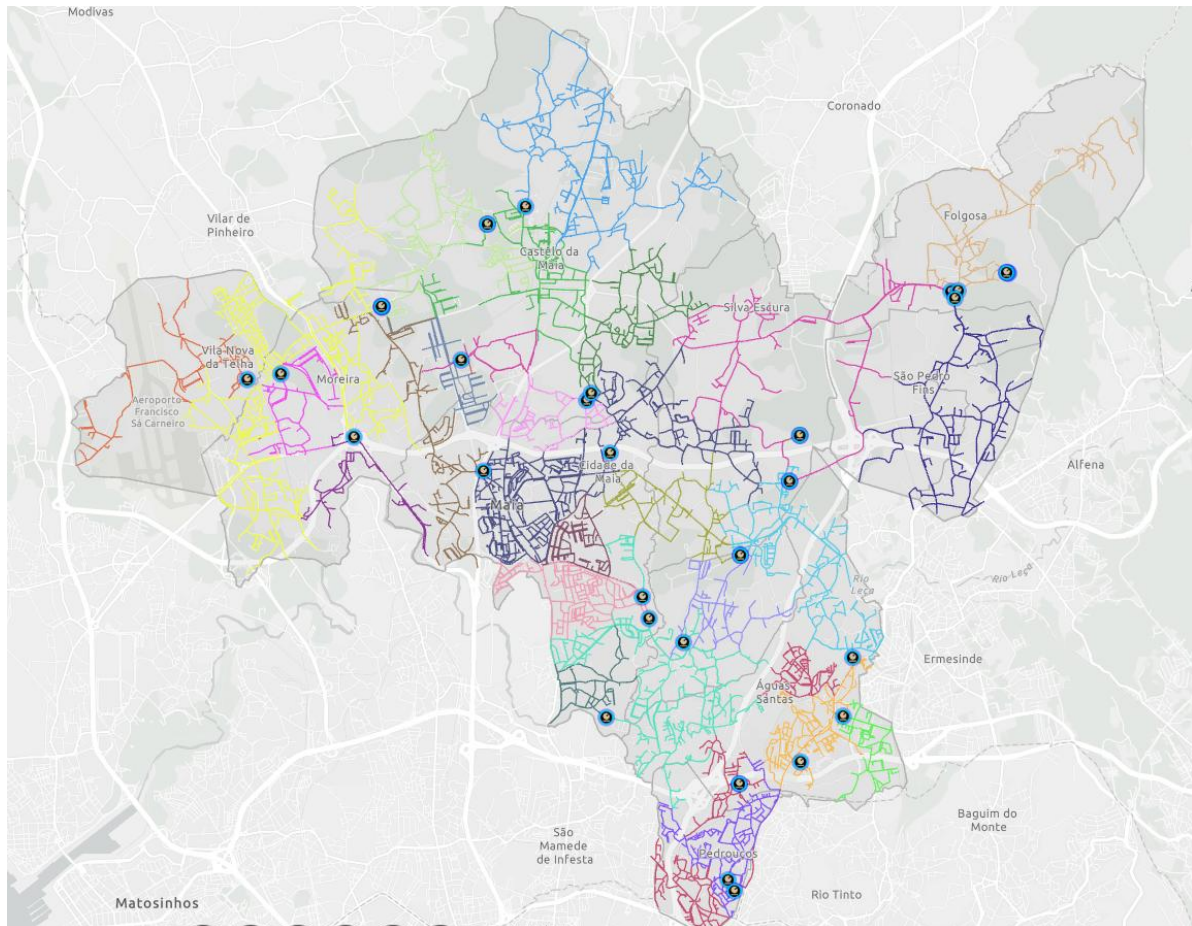


Figura 1 – Cadastro do sistema de abastecimento de água da Maia – ZMC existentes identificadas com diferentes cores

2.3. Curvas das bombas

Foi inicialmente testado colocar no Epanet as curvas das bombas de acordo com a especificação do fabricante, mas concluiu-se que dada a existência de variadores de velocidade, as bombas não estavam a funcionar numa curva única e linear. Assim, obtiveram-se os dados históricos de funcionamento das bombas e calculou-se a média das pressões de entrada e saída para escolher o valor da pressão. Para o caudal de bombagem, como não existiam dados históricos pois as bombas não dispõem de caudalímetros nem contadores, foi feita uma simulação hidráulica e foram calibrados os binómios caudal-pressão até se obterem os pontos de funcionamento mais parecidos com os dados históricos. Assim, a calibração do modelo fez-se recorrendo a dados históricos de pressão, não só nos hidropressores como também nos dados de medidores de pressão que se obtiveram dos dataloggers presentes nas ZMC.

2.4. Consumos base

Numa simulação hidráulica tradicional, é costume distribuir-se o volume de água consumido - capitação no consumidor, ou por vezes o volume distribuído – capitação na origem, igualmente distribuída pelos vários nós ou, noutros casos, igualmente distribuída tendo em conta o comprimento das condutas, como se o consumo fosse igualmente distribuído em todo o sistema ou subsistema. No entanto, na Maia o sistema de SIG tem a identificação de cada ramal de água, que por sua vez está relacionado com 70% dos clientes desta entidade gestora – os que têm telemetria. De notar que a telemetria cobre essa percentagem de clientes, cobrindo também os clientes com maior consumo.

Assim sendo os caudais de 70% de clientes e da grande maioria do consumo de água poderiam ser incorporados diretamente no modelo.

Tentou-se fazer uma exportação dos volumes consumidos para o modelo diretamente a partir do SIG, mas tal não foi possível devido a problemas de unidades. No entanto foi possível exportar para os ficheiros. inp, a proporção dos caudais para cada nó. Assim, os caudais foram introduzidos manualmente no ficheiro utilizando a proporção de volumes consumidos em cada nó (ramal).

Para os restantes 30% de clientes, representando os consumidores de menores volumes e que não têm telemetria nem se dispõe de associação aos ramais correspondentes, os seus consumos foram distribuídos de acordo com a ZMC correspondente, por todos os nós sem consumo.

2.5. Padrões de consumo

Os padrões de consumo de água representam a variação do caudal ao longo do tempo, refletindo os hábitos dos utilizadores e o comportamento da rede, sendo por isso o seu cálculo essencial para a modelação hidráulica. Os padrões de consumo foram definidos com base nos dados de caudal recolhidos (de 15 em 15 min) dos medidores instalados nos reservatórios existentes, disponíveis no sistema de telegestão, a partir dos quais se procedeu à sua análise estatística, nomeadamente o cálculo do caudal médio, máximo e mínimo, para definição do padrão típico de consumo de cada subsistema, ou seja, da curva de caudal ao longo de 24h.

Na figura seguinte apresenta-se um exemplo de um padrão de consumo de um dos subsistemas.

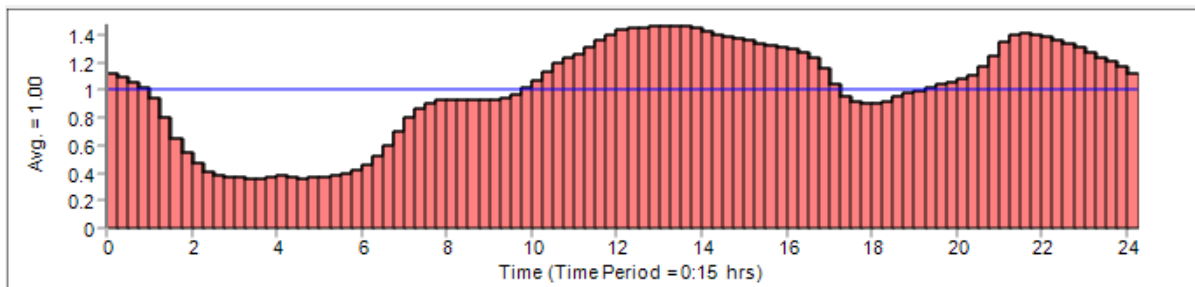


Figura 2 – Padrão de consumo exemplo de um dos subsistemas

2.6. Simulação de perdas reais de água

Como referido, numa simulação hidráulica tradicional, é costume aplicar-se uma capitação igualmente distribuída pelos vários nós, que por vezes é a capitação na origem. Neste tipo de simulação, os consumos base ficam majorados e são simulados como se fossem consumidos nos pontos. A vantagem deste tipo de simulação é que, para efeitos de dimensionamento, é fácil de fazer e dá resultados com significado suficiente. No entanto, a desvantagem é que para apoio à decisão na melhoria da eficiência hídrica de uma rede, uma simulação feita nestes termos não dá resultados congruentes com a realidade.

As perdas reais de água (ou físicas) referem-se à água que se perde num sistema devido a fugas em orifícios ou juntas de condutas, juntas, válvulas, etc.

O caudal que se perde por um orifício é função da pressão nesse orifício sendo, portanto, dinâmico de acordo com a variação de pressão no sistema. Para determinar o caudal que se escoia por um orifício pode-se utilizar a expressão derivada do teorema de Bernoulli:

$$Q=kP^y \quad (1)$$

em que:

- Q é o caudal (neste caso foi utilizada a mesma unidade que para todo o modelo, ou seja, litros por segundo)
- k é uma constante que depende das características do sistema
- P é a pressão (em metros de coluna de água)
- y é o expoente de emissão, que também varia com as características do sistema e do orifício.

Para simular o volume que se perde numa rede no programa Epanet, utilizam-se emissores. Os emissores são dispositivos associados a nós que modelam o caudal através de um orifício.

Os dados que são necessários introduzir no programa são:

- o expoente de emissão - y na expressão (1);
- a constante k na expressão (1) que depende das características do sistema.

Neste caso o expoente de emissão escolhido foi 1,0, considerando as recomendações da IWA (BROTHERS, 2002).

Para calcular o valor de k da expressão (1), utilizaram-se os seguintes dados:

- Pressão média em cada ZMC, correspondendo ao valor de P na expressão (1);
- Média de caudal mínimo de cada ZMC, correspondendo ao valor Q na expressão (1).

Determinado o valor de k de cada ZMC, é preciso distribuí-lo pelos nós. Considerando o número de nós em cada ZMC, dividiu-se o valor de k pelo número de nós para obter o valor de k de cada nó.

2.7. Simulação

Após calibrações do modelo, essencialmente devidas à dificuldade de modelar os hidropressores, obtiveram-se resultados condicentes com a realidade verificada no terreno.

Nas figuras seguintes pode-se observar os resultados da simulação do modelo matemático elaborado, em dois dos horários extremo: 3h da manhã quando há menos consumo e 21h quando o consumo regista a ponta de consumo em quase todos os subsistemas. Às 3h é a hora a que a pressão na rede é maior, especialmente notada nos subsistemas e ZMC totalmente gravíticos. Às 21h é a hora a que a pressão na rede é menor, especialmente notada nos subsistemas e ZMC totalmente gravíticos.

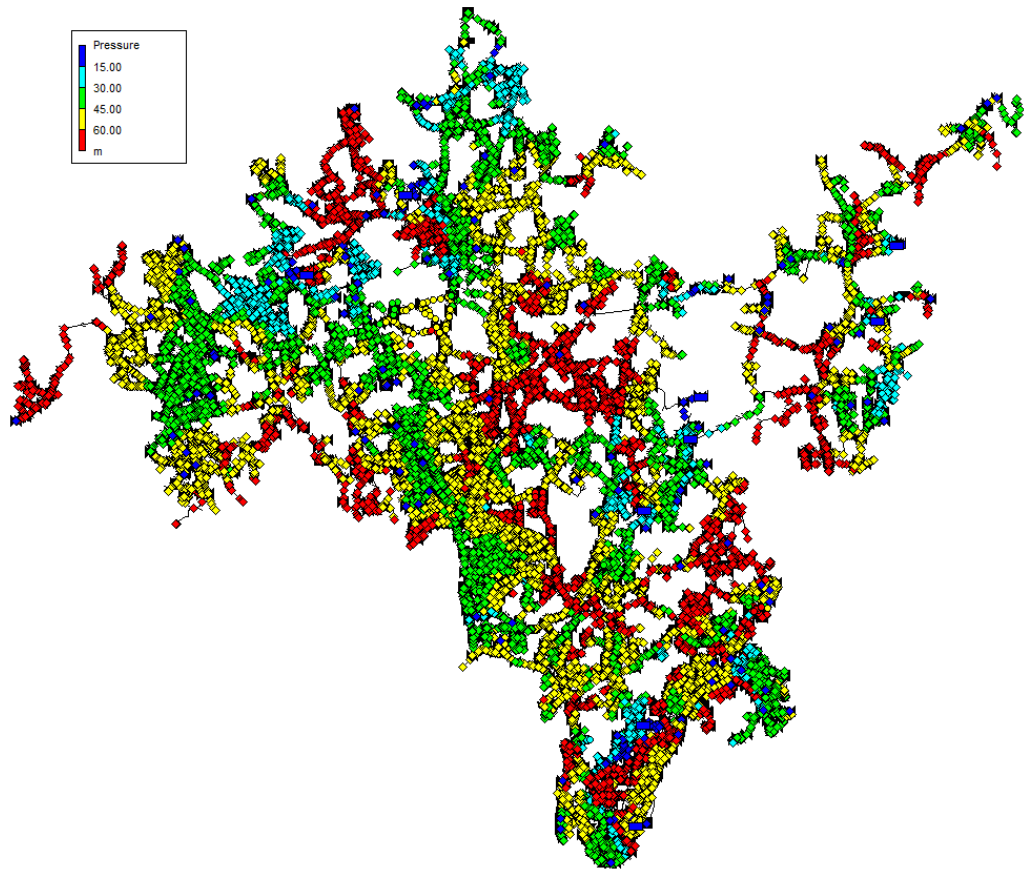


Figura 3 – Pressão no sistema de abastecimento de água da Maia às 3h

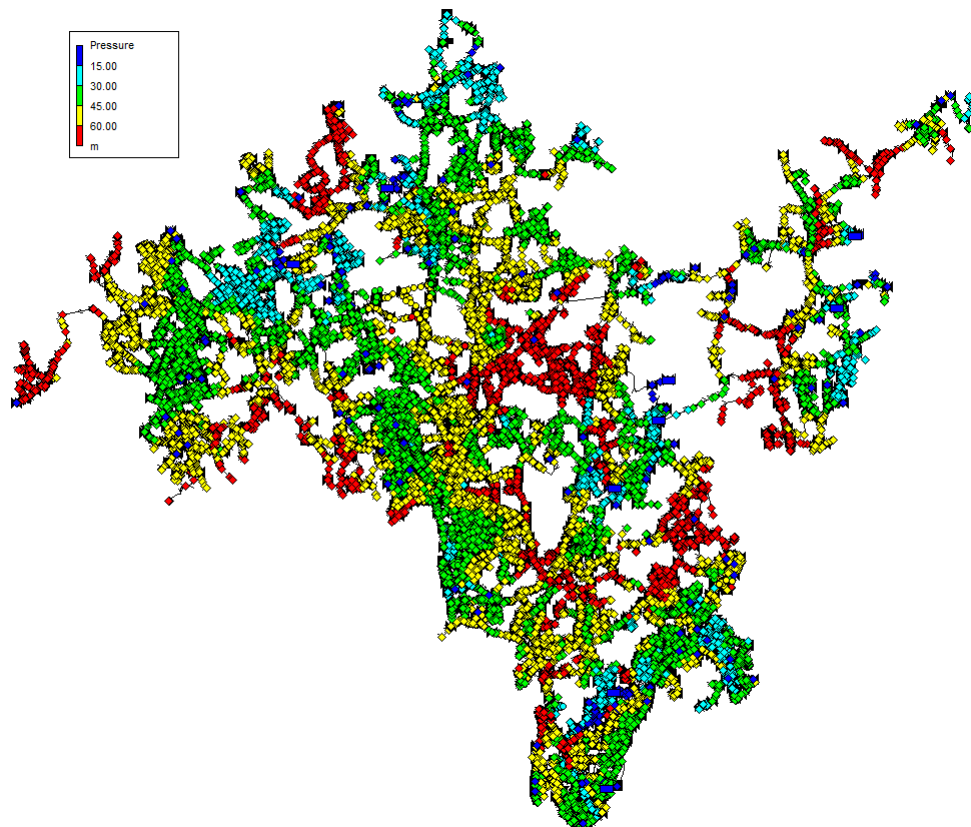


Figura 4 – Pressão no sistema de abastecimento de água da Maia às 21h

3. PLANEAMENTO DA SETORIZAÇÃO E REGULAÇÃO DA PRESSÃO

3.1. Setorização

A setorização de uma rede de abastecimento de água é uma estratégia de gestão que consiste em dividir a rede em setores, chamados zonas de medição e controlo (ZMC), cada um com medição e controlo próprios. Essa abordagem traz diversos benefícios relacionados com a eficiência hídrica:

- Deteção de perdas reais mais fácil:
 - Facilita a identificação de fugas e perdas reais pela observação dos caudais mínimos noturnos;
 - Permite comparar o volume de água entrada vs. consumo registrado numa área mais pequena;
- Melhoria na gestão operacional:
 - Torna a pesquisa de fugas com recurso a geofone mais direcionada e mais localizada;
- Controlo de pressões:
 - Permite implementar controlo de pressão por setor, reduzindo o caudal de fuga;
- Resposta rápida a emergências:
 - Em caso de falhas ou necessidades de intervenção a zona abrangida é menor.

Existem ainda outros benefícios da setorização não diretamente relacionados com a eficiência hídrica dos sistemas.

As desvantagens da setorização de uma rede originalmente malhada, como é o caso da rede de distribuição da Maia é que quando o abastecimento provém de várias condutas, dependendo das condições, ao setorizar, o abastecimento passa a vir apenas por uma conduta, que por vezes tem capacidade inferior e que pode comprometer o abastecimento. É por este motivo que a modelação hidráulica é muito importante, pois pode ser simulado previamente o impacto da setorização no abastecimento à ZMC, de modo a garantir que as condições de abastecimento se mantêm adequadas depois da setorização.

Atualmente o sistema de abastecimento da Maia está subdividido em 7 subsistemas e 27 ZMC. O comprimento total de rede é de cerca de 651km. O comprimento de rede dentro de cada ZMC varia entre 8,4 km e 74,8 km.

O objetivo da setorização é ter ZMC com, no máximo 20 km de extensão, correspondendo ao rendimento diário de uma equipa de pesquisa de fugas com recurso a geofone. Existem na Maia 14 ZMC com mais de 20 km, que deveriam ser subdivididas em ZMC de menor dimensão, requerendo especial atenção as 3 ZMC com mais de 40 km, que demorariam 2 dias a percorrer por uma equipa de pesquisa de fugas. Assim, utiliza-se a modelação hidráulica para simular o efeito da setorização na ZMC que se pretende criar, fechando setores, pondo a água com um caminho único e vendo os efeitos na simulação nos caudais e pressões nos consumidores, garantindo a sua adequação.

3.2. Redução de pressão

A redução de pressão num sistema de abastecimento de água pode fazer-se dos seguintes modos principais:

- Setorização da rede e, portanto, encaminhamento da água apenas por uma conduta;

- Redução da pressão de funcionamento de um hidropressor ou estação elevatória em redes pressurizadas;
- Introdução de válvulas de controlo de pressão (reguladoras, sustentadoras e, mais frequentemente, redutoras).

No caso da Maia verificou-se a necessidade de efetuar a redução do ponto de funcionamento de alguns hidropressores e instalar válvulas redutoras de pressão.

3.2.1. Simulação de resultados esperados – redução da pressão de funcionamento de um hidropressor

Como referido, com a introdução de alterações ao modelo hidráulico elaborado nos termos definidos neste documento em termos de setorização e de redução de pressão, é possível simular os resultados esperados em termos de perdas reais de água.

Dando como exemplo a ZMC dependente do hidropressor 2, verifica-se que estava com pressões elevadas, acima de 60 metros de coluna de água em algumas zonas, e que havia potencial para baixar um pouco a pressão, pois no extremo este a pressão é ainda razoável. Baixando o ponto de funcionamento da bomba de 36.7 metros para 25 metros de coluna de água ainda se obtém um valor aceitável de pressão no ponto mais desfavorável.

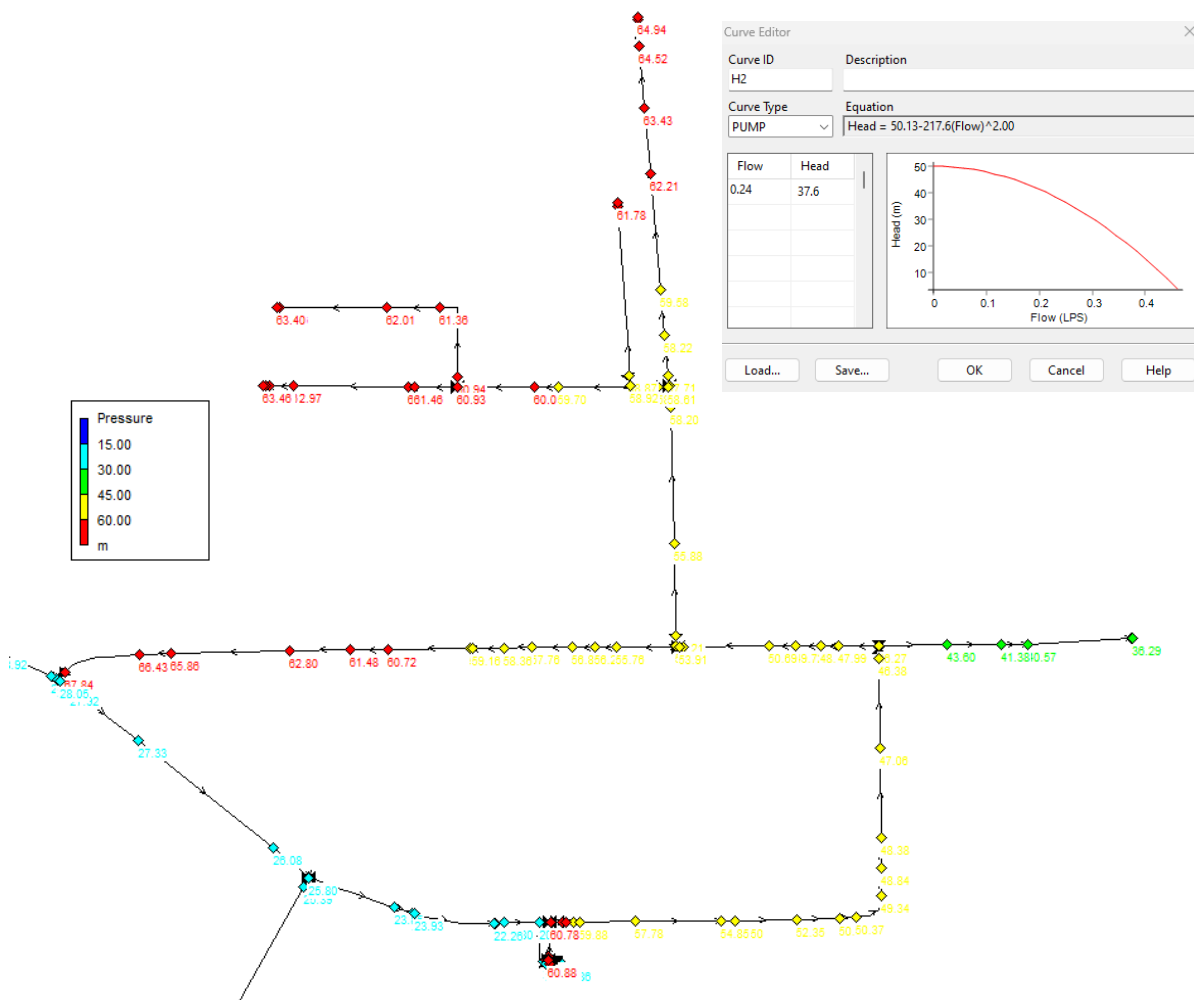


Figura 5 – Pressão na ZMC do H2 às 21h antes da alteração do ponto de funcionamento das bombas

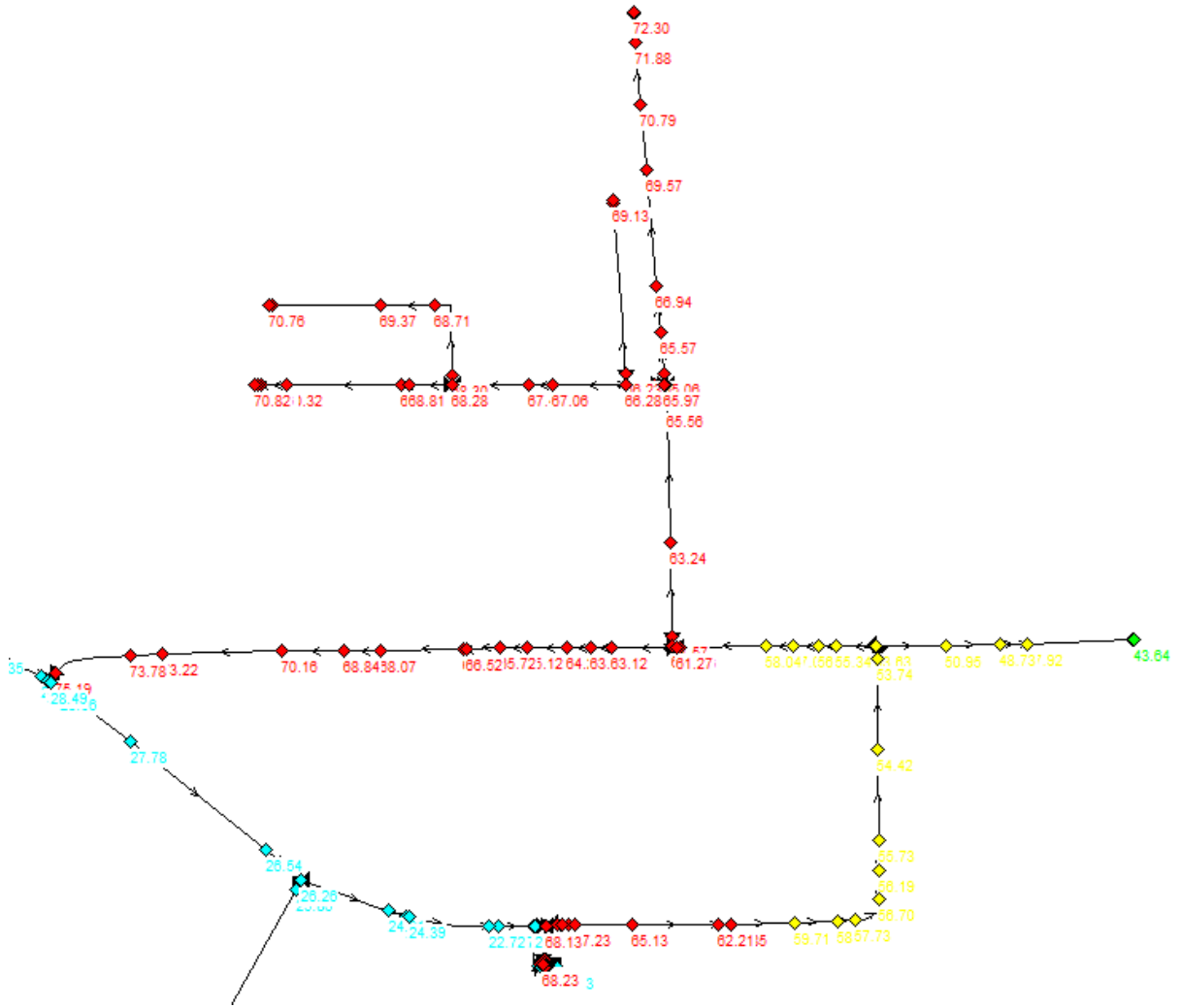


Figura 6 – Pressão na ZMC do H2 às 3h antes da alteração do ponto de funcionamento das bombas

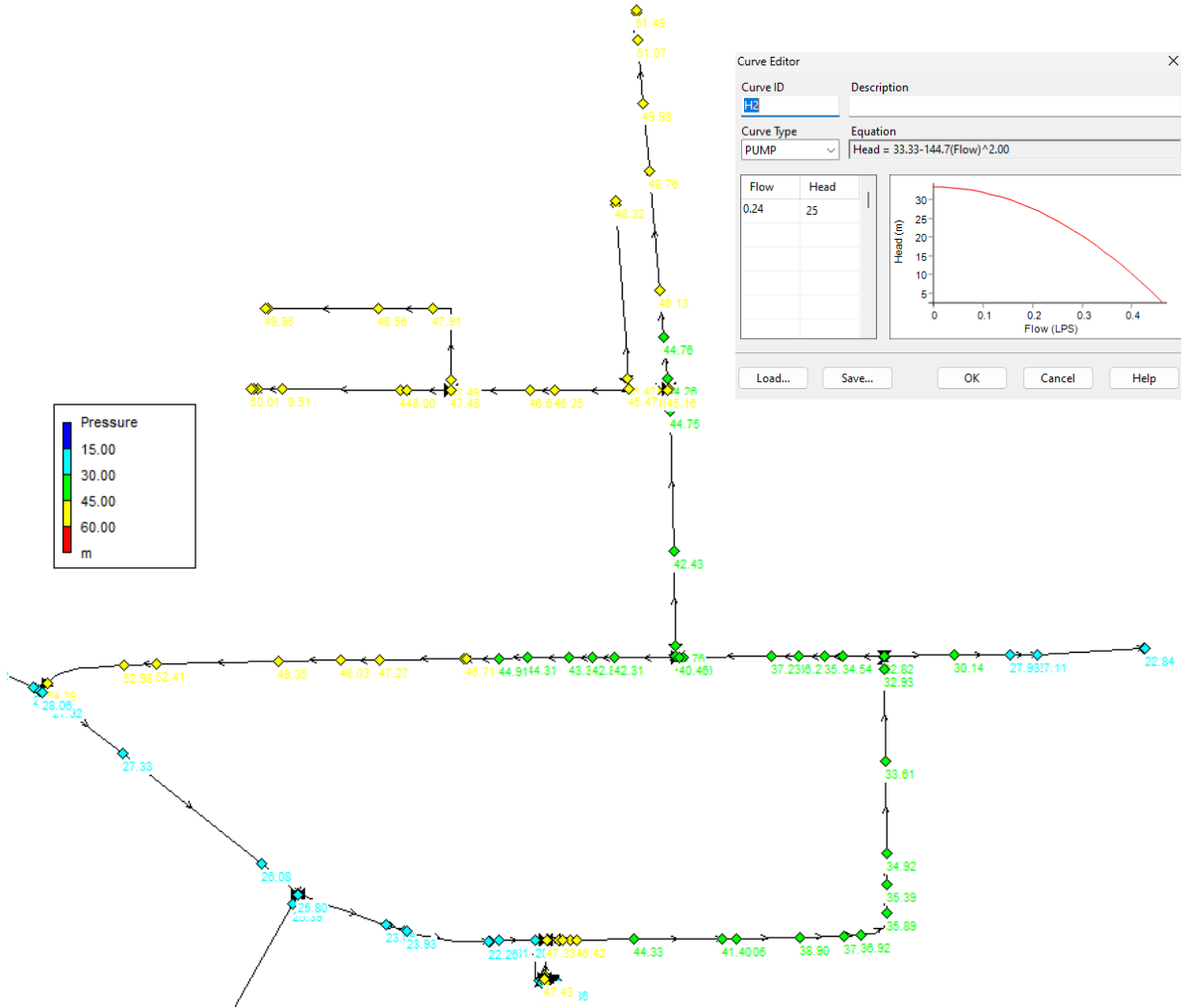


Figura 7 – Pressão na ZMC do H2 às 21h depois da alteração do ponto de funcionamento das bombas

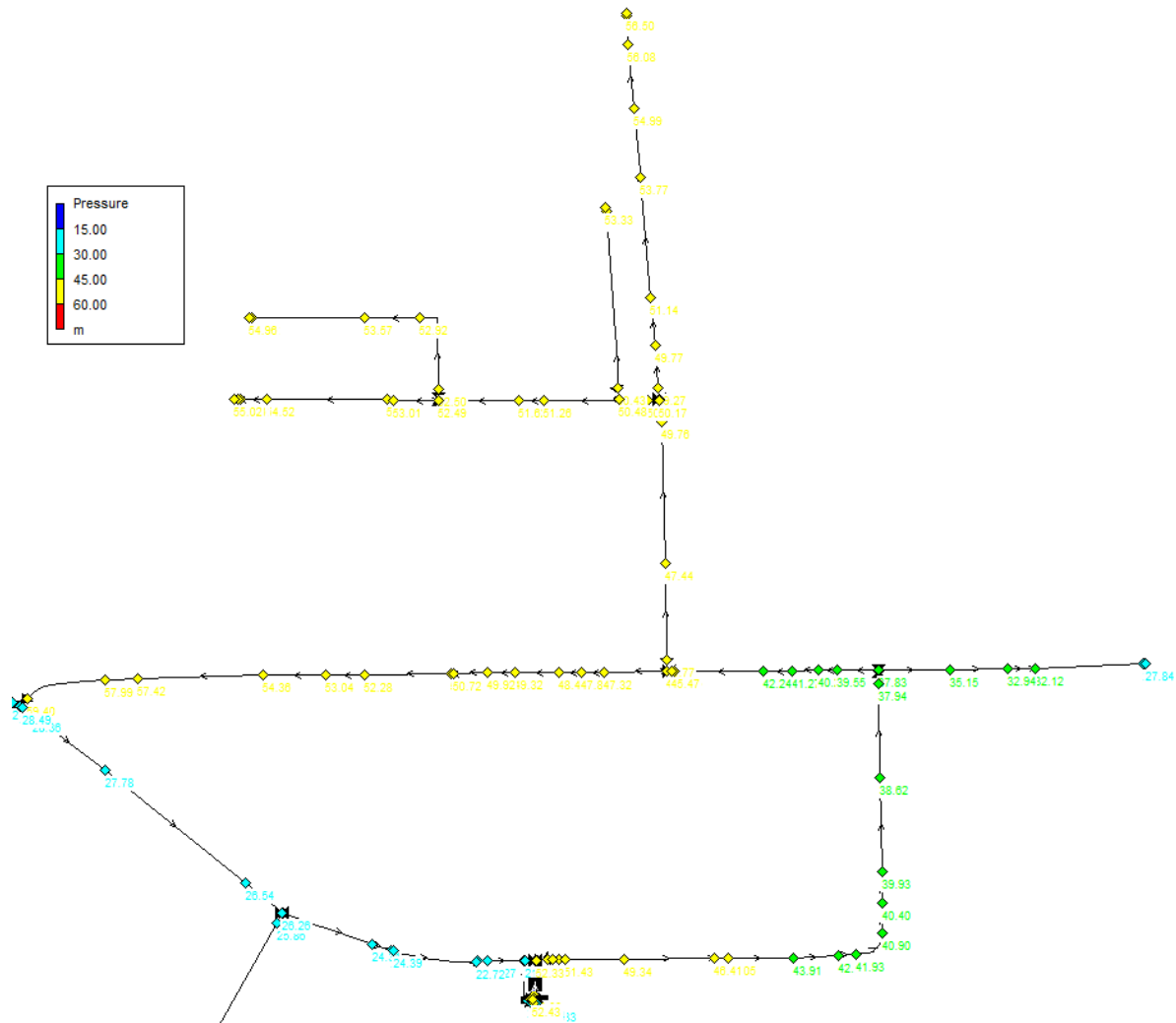


Figura 8 – Pressão na ZMC do H2 às 3h depois da alteração do ponto de funcionamento das bombas

3.2.2. Simulação de resultados esperados – introdução de uma válvula redutora de pressão

Dando como exemplo a introdução de uma válvula redutora de pressão (VRP) numa zona que estava com pressões elevadas, acima de 60 metros de coluna de água, ainda se obtêm valores aceitáveis de pressão no ponto mais desfavorável, como se pode observar na Figura 9 – antes da introdução da VRP e na Figura 10 – depois da introdução da VRP

Verifica-se ainda neste exemplo um potencial de redução de caudais mínimos de 0,84 l/s para 0,80 l/s, que acontece apenas pela redução da pressão. Esta redução é visível no modelo pela observação do caudal mínimo no mesmo troço (imediatamente a jusante do local onde está prevista a introdução da VRP) antes e depois da VRP.

A redução de 0,04 l/s no caudal mínimo implica uma poupança de 3,5 m³/dia ou 1260 m³ por ano apenas numa extensão de rede tão pequena quanto 4,6 km.

Por este exemplo se pode verificar o potencial que tem a redução da pressão numa rede de 650 km, sem perda de qualidade no serviço de abastecimento de água.

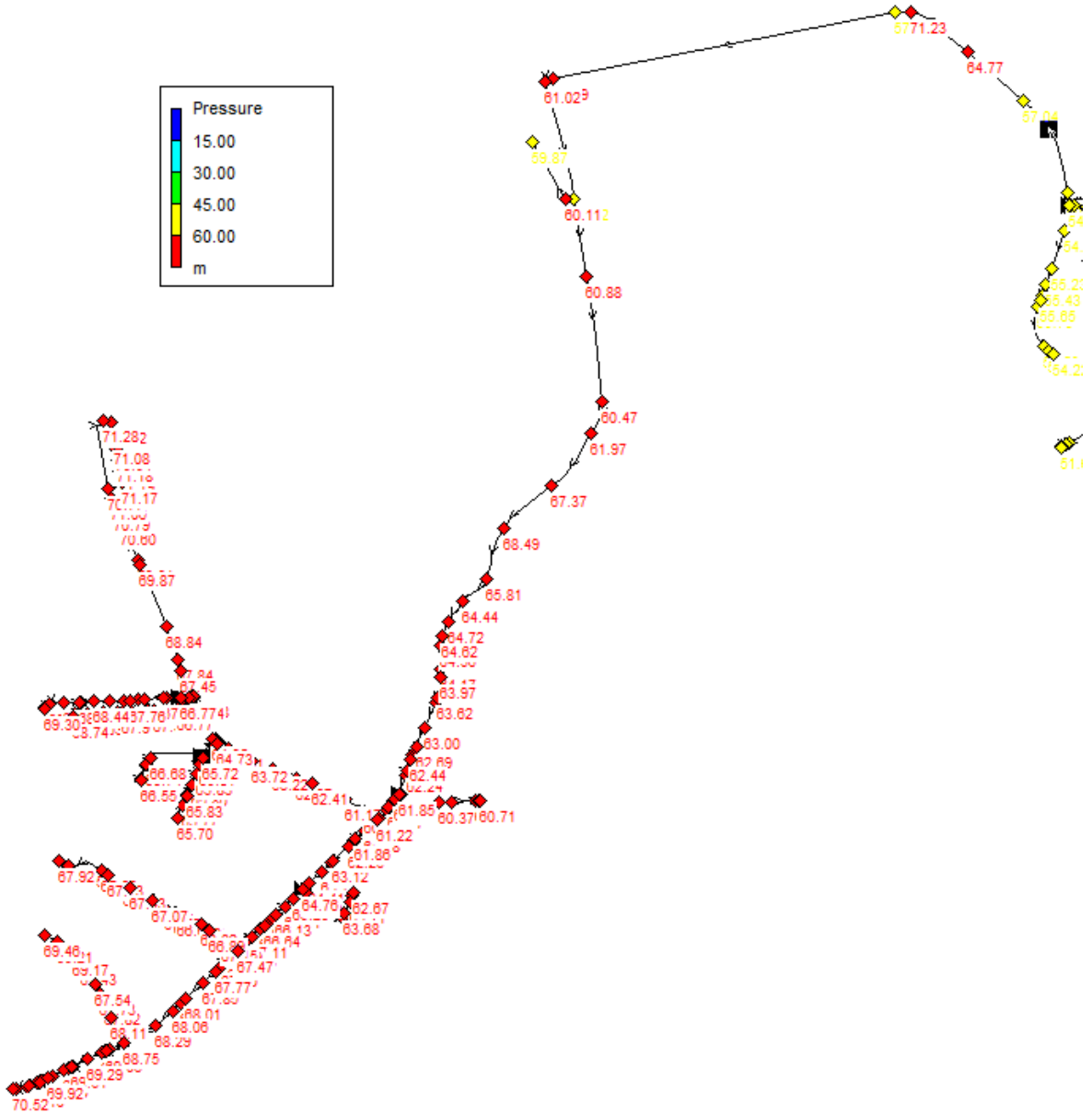


Figura 9 – Pressão na zona de planeamento de introdução de uma VRP às 3h

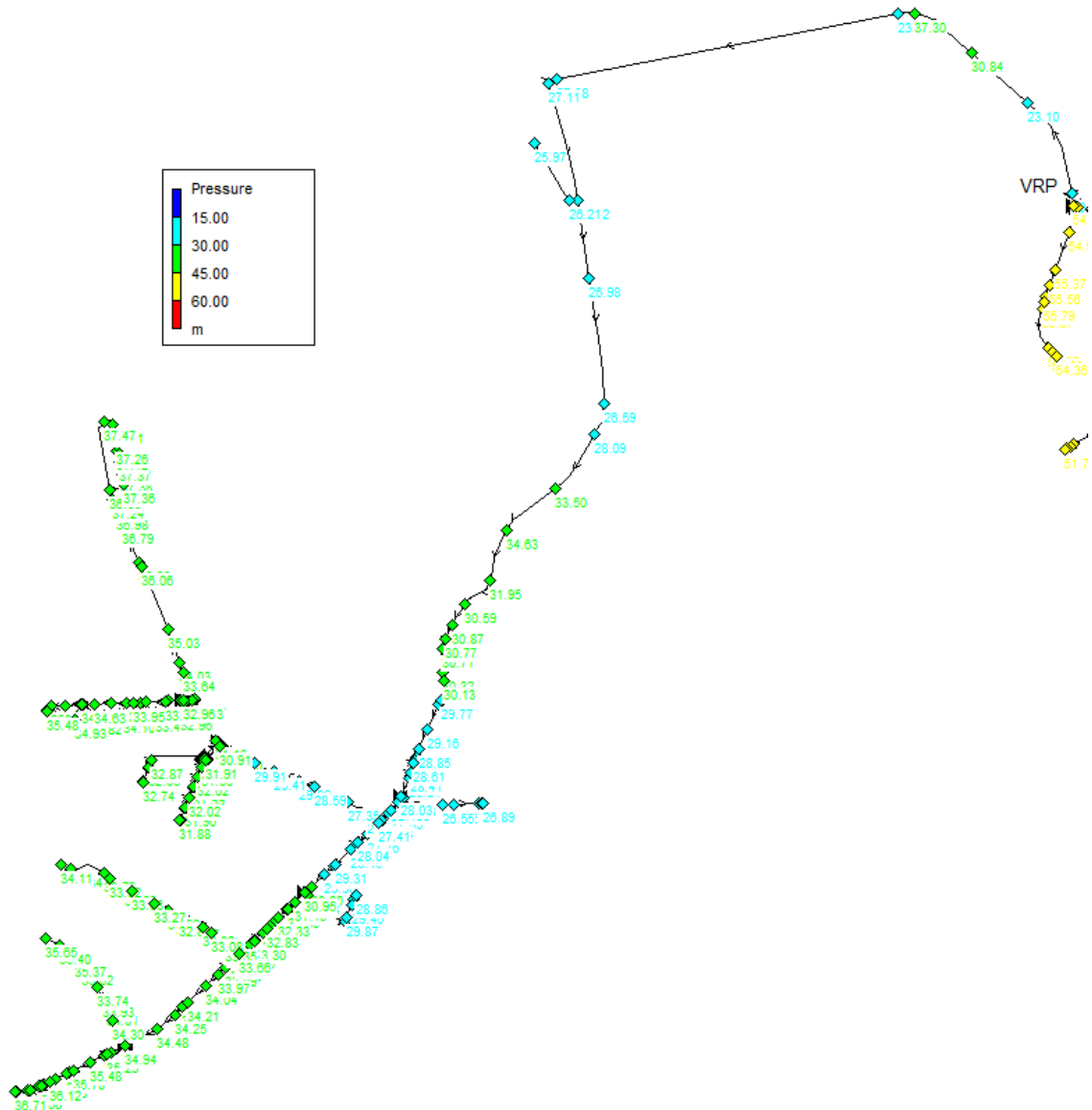


Figura 10 – Pressão esperada após a instalação da VRP às 3h

4. RELEVÂNCIA DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA

A modelação matemática é uma ferramenta essencial para a gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água, especialmente no controlo de perdas reais, constituindo uma base analítica para a compreensão do comportamento hidráulico da rede, permitindo simular cenários operacionais e apoiar decisões técnicas e económicas.

Na redução e controlo de perdas reais de água, a construção e calibração de modelos hidráulicos assumem especial relevância, permitindo:

- Definição adequada de ZMC, com base em critérios técnicos e geográficos;
- Regulação da pressão, através da análise de pressões na rede e definição de órgãos de gestão de pressão a instalar. A pressão excessiva está associada a um aumento exponencial do volume de água perdido por fugas, bem como ao desgaste acelerado das infraestruturas;

- Aproximação da distribuição espacial das perdas;
- Avaliação do impacto de eventuais intervenções/alterações no sistema;
- Apoio em decisões de investimento, com base em critérios técnicos e económicos.

A eficácia da modelação depende da existência de uma base de dados fiável, um sistema de informação geográfica constantemente atualizado e uma modelação ágil e rápida, se possível alimentada por sistemas de monitorização, telemetria e telegestão.

Este trabalho demonstra, com base no caso prático dos SMAS da Maia, como a modelação hidráulica contribuiu para identificar o potencial de redução das perdas reais e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do serviço e a sustentabilidade financeira desta entidade, ainda que o cenário de partida fosse já de valores de perdas reais bastante otimizado. Esta é uma metodologia que pode ser aplicada por qualquer entidade gestora de abastecimento de água para realizar o seu planeamento de gestão de perdas reais de água.

BIBLIOGRAFIA

FARLEY, M.; MALCOM, P. – *Leakage management and control: a best practice training manual*. Genebra (Suíça), World Health Organization, 2001.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – *EPANET Version 2.2. Help – User Manual*. Cincinnati, Ohio (EUA), U.S. Environmental Protection Agency, Water Infrastructure Division, Center for Environmental Solutions and Emergency Response.

BROTHERS, K. J. – "The IWA Water Loss Task Force: A Practical Approach to Water Loss Reduction". *Water 21*, International Water Association, 2002.