



REDES INTELIGENTES E MACHINE LEARNING NA GESTÃO EFICIENTE DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Nelson Carriço¹ e Helena M. Ramos²

¹Instituto Politécnico de Setúbal/Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Rua Américo da Silva
Marinho, 2839-001 Lavradio

²Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, CERIS, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001
Lisboa, Portugal

¹nelson.carrico@estbarreiro.ips.pt

RESUMO

O principal objetivo deste artigo é o de propor um modelo inteligente para ajudar os gestores de água a reduzir as perdas, melhorar o desempenho do sistema e promover a eficiência donexo água-energia. O presente estudo aborda a gestão da pressão de um sistema real, utilizando a modelação em EPANET e modelos de apoio à decisão e numa segunda fase procede à redução de perdas no nexode água e energia com vista à instalação de microturbinas do tipo PAT, usando uma técnica de ML, nomeadamente, redes neuronais artificiais. No caso de estudo, a utilização de uma PAT torna-se vantajosa, porque além de controlar as pressões consegue produzir energia elétrica ajudando na solução sustentável para a transição energética. As pressões são controladas pela curva de perda de carga, ou curva característica da PAT, e dependem do caudal turbinado. É verificada a operacionalidade dos sistema e efetuadas comparações entre o funcionamento com VRP e PAT. A redução de pressão mantém-se com valores normais, não prejudicando o funcionamento do abastecimento.

Palavras-Chave

Machine learning, Redes inteligentes, Sistemas eficientes

1. INTRODUÇÃO

As perdas de água nos sistemas de abastecimento são um problema comum e grave, uma vez que envolvem processos hidroenergéticos complexos e intensivos. As perdas de água representam um desperdício de água tratada e de recursos energéticos. De acordo com a literatura, a abordagem mais eficaz na redução das perdas de água resulta de um compromisso entre manter o caudal necessário para satisfazer os consumos e a gestão da pressão através de dispositivos de controlo, como por exemplo, válvulas redutoras de pressão (VRP), em nós críticos da rede de distribuição de água. Contudo, aumentar o caudal fornecido à rede e gerir os níveis de pressão é um desafio. A modelação da rede de distribuição de água é vital para qualquer estudo de redução de perdas de água considerando a gestão da pressão. Estes modelos consideram a localização e a quantidade de VRP a instalar na rede para

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

garantir uma pressão adequada. O modelo de simulação mais comumente utilizado para modelação hidráulica é o EPANET, tendo este, também, sido utilizado no presente estudo. Os métodos de deteção de fugas podem ser de diferentes tipos, tendo-se neste estudo optado pelos que se baseiam na análise de dados de operação da rede distribuição de água. Neste tipo de métodos, incluem-se os estatísticos, o balanço hídrico, os caudais noturnos, a modelação de transitórios hidráulicos e o controlo das pressões. O desenvolvimento mais recente nos sistemas de monitorização em tempo real, das redes de distribuição de água, criou oportunidades para a consideração de novos métodos baseados em dados para a deteção e localização de fugas. Nestes incluem-se os métodos de *machine learning* (ML), traduzindo-se para a língua portuguesa como métodos de aprendizagem de máquina ou aprendizagem automática. As plataformas de ML baseadas em soluções digitais podem ajudar a reduzir as perdas de água e o consumo de energia, fornecendo telemetria avançada para controlar a gestão da água e energia com vista a uma rede de água inteligente. Uma abordagem holística de resolução de problemas é apresentada como uma tecnologia de gestão para apoiar um conjunto de condicionantes, tais como: (i) gestão da água: redução de perdas de água por meio do sistema de deteção e comunicação que supervisiona de forma inteligente sensores, telemetria e atuadores para regular a pressão e o caudal em pontos críticos da rede, (ii) monitorização de água e energia: o sistema de controlo transmite os dados pertinentes ao sistema de aquisição, de controlo e de gestão e (iii) controlo da rede de distribuição: a plataforma de controlo remoto, utiliza a análise de *big data*, capacita a gestão da rede de água e energia por forma a tornar o sistema progressivamente mais eficiente com controlo de válvulas e decisões em tempo real.

O principal objetivo deste artigo é o de propor um modelo inteligente para ajudar os gestores de água a reduzir as perdas, melhorar o desempenho do sistema e promover a eficiência donexo água-energia.

2. METODOLOGIA

Samuel [1] definiu *machine learning* (ML) como um “campo de estudo que dá aos computadores a capacidade de aprender sem serem explicitamente programados”. A aprendizagem profunda (*deep learning* em língua inglesa) é um tipo utilizado (Figura 1) que se baseia em redes neuronais artificiais (RNA) e usa várias camadas de processamento para identificar recursos uniformes nas imagens. Zhang [2] definiu-o como “o processo não apenas para aprender a relação entre duas ou mais variáveis, mas também o conhecimento que governa a relação, bem como o conhecimento que dá sentido à relação”.

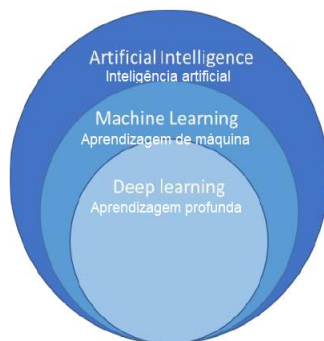


Figura 1. Diagrama da inteligência artificial

Investigações recentes mostram que as RNA permitem identificar e extrair recursos de imagens permitindo melhorar substancialmente o estado da arte na classificação de imagens e outras tarefas de reconhecimento.

A metodologia necessária para a aplicação de técnicas de ML, como as RNA, utiliza as seguintes etapas, e que foram tidas em conta neste estudo: (1) preparação de dados, (2) escolha da arquitetura da RNA

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

(3) treino da RNA, (4) validação do modelo (5) testar a RNA e finalmente (6) a implementação do modelo, resultados e métricas.

O presente estudo numa primeira fase dedicou-se à gestão da pressão num caso real, utilizando a modelação em EPANET e modelos de apoio à decisão e numa segunda fase focou-se na deteção e localização de fugas usando uma técnica de ML, nomeadamente, RNA.

3. RESULTADOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

A metodologia foi aplicada a uma rede de distribuição de água dos Serviços Municipalizados de Loures. Nesta rede foi instalada uma válvula redutora de pressão (VRP) de modo a aproveitar a energia que seria dissipada. A válvula funciona com carga constante. No Quadro 1 são apresentadas as propriedades da válvula redutora de pressão em estudo.

Quadro 1. Características da VRP

		Bairro da Milharada
P _{entrada}	(bar)	7,3
P _{saída}	(bar)	3,8
Diâmetro	(mm)	150
ID Localização	(-)	208063

A VRP no Bairro da Milharada encontra-se isolada, por baixo de um viaduto da CREL, e considera-se que apenas existe consumo a jusante da válvula (Figura 2a). A conduta em que a válvula está instalada, tem 200 mm de diâmetro. Com as cartas de altimetria fornecidas e com o programa GELOURES e o AutoCAD procedeu-se à atribuição de cotas dos vários nós (Figura 2b).

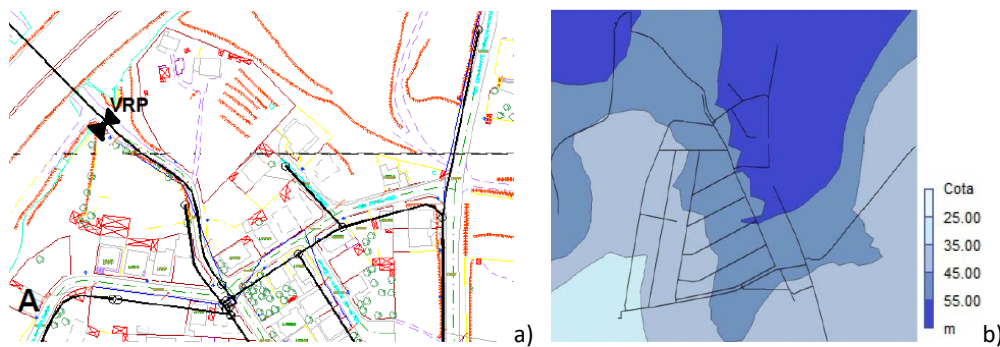


Figura 2. Localização da VRP no Sistema do Bairro da Milharada (a) e variação da cota topográfica (b)

A aplicação de ML para a seleção dos locais de melhor potencial energético exigiu a criação de uma base de dados conforme Quadro 2.

No final do processamento dos dados de entrada constituídos por uma matriz de $[5 \times 20e3]$, procede-se ao cálculo do potencial energético associado a cada local da rede, onde é aplicado um modelo de simulação hidráulico-energético para a gama de caudais e quedas possíveis por forma a selecionar os melhores locais que conduzem ao maior benefício económico.

Para isso é necessário definir o caudal médio instantâneo na rede medido à entrada da válvula que esteja sobe análise. No Bairro da Milharada a VRP encontra-se a montante do serviço de distribuição onde se fazem medições de 3 em 3 minutos (Figura 3a).

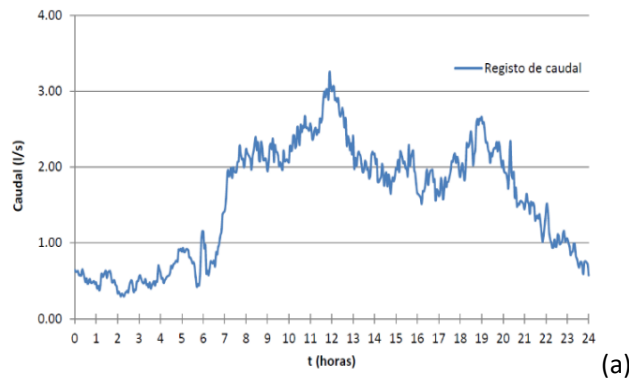
SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Com base nos registos, o volume de distribuição para esta rede é de 135,65 m³, de onde resulta um caudal instantâneo médio de 1,57 l/s, valor utilizado para o cálculo do consumo-base em cada nó (Figura 3b). Este caudal inclui o valor do caudal de fuga que é em média da ordem de 0,628 l/s, o que corresponde a cerca de 40% do caudal entrado para o sistema analisado.

Quadro 2. Dados de entrada para avaliação do potencial hidroenergético

Turbine mean output power kW (1)	Daily average flow m ³ /s (2)	ΔZ m (3)	Turbine head m (4)	Design flow rate L/s (5)
...
0.587	0.003	16	24	2
1.016	0.003	21	29	2
1.876	0.003	32	41	2
2.306	0.003	38	46	2
...



N _i	N _j	Pipe	L	k	N	L _f	Q _{wecho}	215962	215965	216265	216272	216247	
215962	215965	112905	7.55	1	1	7.55	0.0019	0.00093	0.00093	0.00000	0.00000	0.00000	
216265	216272	112907	52.65	0.5	3	78.98	0.0195	0.00000	0.00000	0.00973	0.00973	0.00000	
216247	208985	112908	59.78	0	0	0.00	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
216067	216112	112963	439.94	0	0	0.00	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
216112	216169	112954	135.49	0	0	0.00	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
...													
228402	228412	113180	0.83	0	0	0.00	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
216265	228404	113181	7.32	0.5	2	7.32	0.0018	0.00000	0.00000	0.00090	0.00000	0.00000	
215962	228408	113182	44.46	1	2	88.92	0.0219	0.01095	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
215962	228407	113183	110.47	1	2	220.94	0.0545	0.02722	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
228407	202454A	113184	77.81	0.5	2	77.81	0.0192	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
Σ							6363.09	1.5707	0.03916	0.00391	0.02153	0.02362	0.00000

Property	Value
*Valve ID	208063
*Start Node	208063A
*End Node	208063B
Description	
Tag	
*Diameter	150
*Type	PRV
*Setting	38.75
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None
Flow	0.66
Velocity	0.04
Headloss	7.15
Quality	0.00
Status	Active

Figura 3. Registo de caudal na VRP (a) e configuração da VRP no modelo (b)

Após a atribuição dos consumos-base em cada nó e sabendo a pressão de entrada e de saída da válvula redutora de pressão passa-se à calibração do modelo. No modelo EPANET é necessário configurar o funcionamento da VRP. No estado fixo da válvula é colocado NONE, ou ativa, e no parâmetro de controlo ou *Setting, ou seja, a variação de pressão de 3,5 bar ou 38,75 m de acordo com as unidades do programa. Para o processo de calibração do modelo é necessário colocar a série de caudais médios

SMART WATER:

Transição hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

instantâneos reais. A série é inserida num ficheiro com o formato .txt e contém o ID da localização da VRP e o instante em que a medição foi efetuada e o valor do caudal medido. Tratando-se de uma simulação dinâmica, foi necessário inserir um padrão temporal de consumo. Nesta conformidade, foi atribuído, atendendo ao caudal instantâneo, um padrão temporal visto que não foram fornecidos quaisquer dados a este respeito. Estes valores são resultado de séries iterativas, onde se alteram os valores dos coeficientes temporais até obter o resultado ótimo. Após a definição do padrão de consumo é feita a simulação e são analisados os resultados.

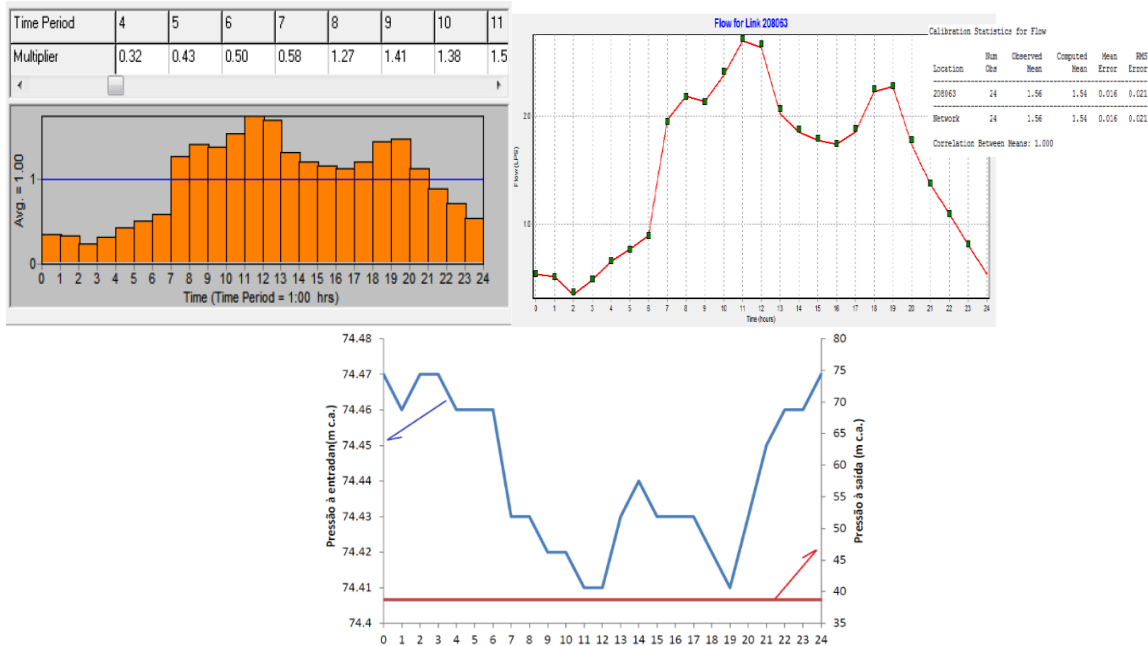


Figura 4. Padrão temporal de consume, resultados da calibração e pressão à entrada e saída da VRP

No controlo de pressão através de uma microturbina, utilizou-se modelo MULTITEC 32-2.1 com diâmetro de 142 mm. Este modelo caracteriza-se por ser uma bomba multicelular. A diferença entre a bomba centrífuga multicelular e a bomba centrífuga simples está no número de rotores. A bomba multicelular tem vários rotores dispostos em série, o que facilita um maior aproveitamento de energia como se fosse uma máquina em série e um maior rendimento. O comportamento destas curvas caracteriza-se pelo aumento dos valores da queda com o aumento da velocidade de rotação. Com a relação da velocidade específica, n_s , e com o binário do motor, Γ , determina-se a potência mecânica do sistema, P . O rendimento para cada velocidade específica corresponde à divisão da potência hidráulica pela potência mecânica.

Na Figura 6 a curva CCI intercepta várias curvas de rendimento. A escolha de um ponto de funcionamento vai depender da análise comparativa entre os vários regimes de exploração. De seguida é aplicada na rede de abastecimento a curva da bomba reversível Multitec, como curva de perda de carga em válvula genérica. Apresentam-se os resultados obtidos em função das pressões para a hora de maior e menor consumo, respetivamente 12:00H e 2:00H. À esquerda encontram-se os resultados para a utilização da VRP e à direita para a PAT Multitec.

Mesmo com a utilização da VRP verificam-se zonas com valores superiores aos valores da pressão de serviço. A instalação da PAT, para além de reduzir a pressão para valores mais toleráveis, em relação aos de serviço, leva à diminuição do volume de perdas de água de cerca de 15%.

SMART WATER:

Transição hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Existem zonas em que a pressão excede os 60 m, valor máximo de pressão estipulado, que ocorrem tanto na utilização da VRP, como da PAT. Em ambos os casos, as velocidades do escoamento nos trechos não excedem a velocidade máxima regulamentar.

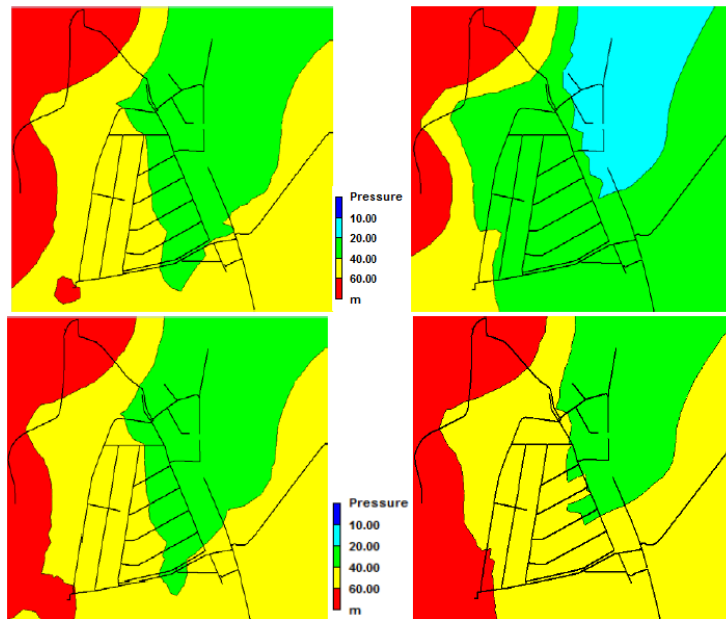


Figura 5. Valores de pressão para a hora de maior consumo (12h) e de menor consumo (2h)

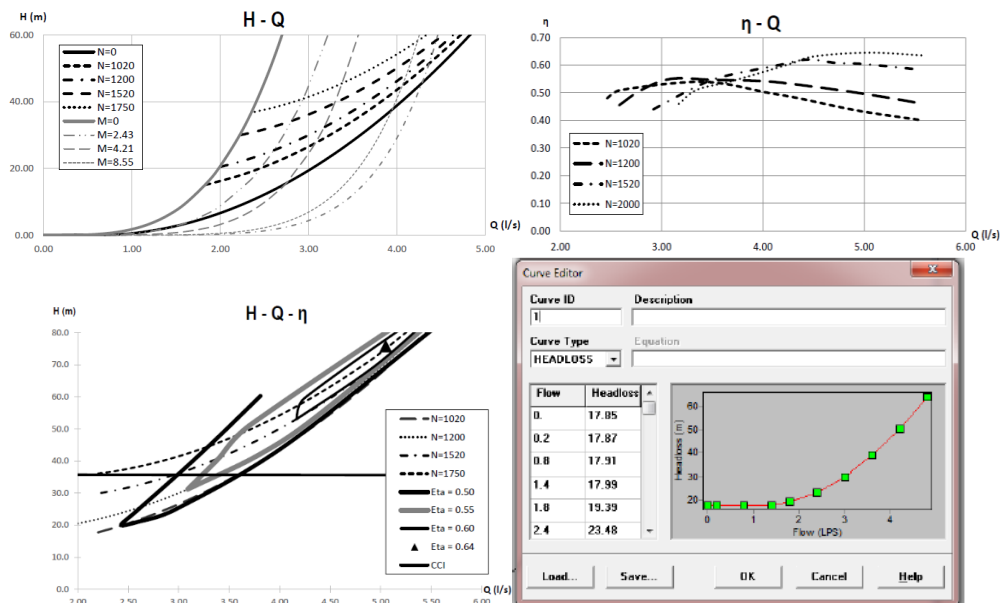


Figura 6. Curvas característica da bomba a funcionar como turbine (PAT) para diferentes velocidades de rotação, diagrama em colina dos rendimentos e curva característica da instalação (CCI)

Também em ambos os casos, existem trechos em que não se verifica a velocidade mínima exigida, sendo necessário fazer descargas periódicas. Na hora de menor consumo verifica-se que partes da se encontra com excesso de pressão, agravando a área de pressão acima dos 60 m em ambos os casos. Em

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

relação às velocidades, apesar de não ultrapassarem a máxima regulamentar, existem troços onde não se verifica a velocidade mínima.

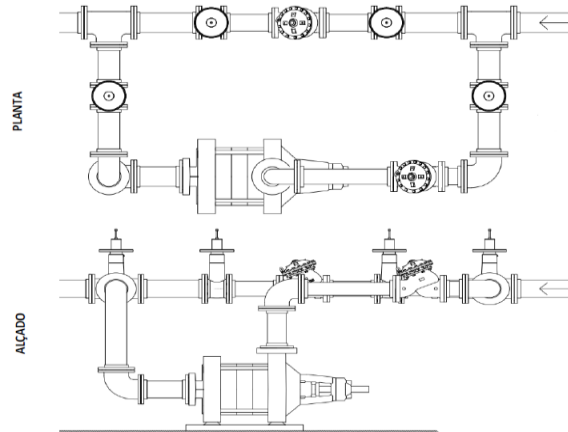
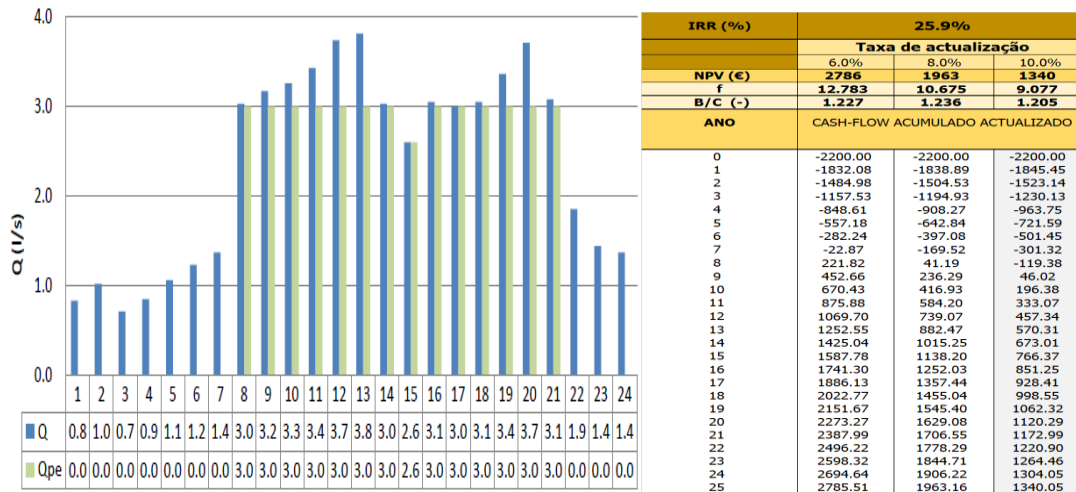


Figura 7. Proposta da instalação da PAT

Na Figura 7 propõe-se um sistema de instalação da Multitec no Bairro da Milharada, onde se mantém a situação existente com a VRP.

3.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

De modo a maximizar os benefícios foi realizada uma análise comparativa dos vários regimes de exploração. Nesta análise considerou-se um caudal de 3,0 l/s que oferece a hipótese de 13 horas de caudal turbinado, sendo a opção mais viável. Neste regime de exploração do Bairro da Milharada o período considerado para a produção energética é das 8:00-21:00H.



Potência instalada=0.5 kW; Energia produzida por ano = 2,6 MWh

Figura 8. Regime de exploração e resumo da análise económica

Os resultados diferem com a variação da taxa de atualização e do preço de venda. Maiores preços de venda traduzem-se em maiores benefícios e menores tempos de retorno. Obtiveram-se retornos do investimento entre 7 a 8 anos, com uma taxa interna de rentabilidade (TIR) de cerca de 26% quando se consideram taxas de atualização entre 6 e 10%. Para valores de caudal reduzidos faz com que a energia produzida não seja muito significativa, embora não desprezável.

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

4. CONCLUSÕES

Com vista à melhoria da eficiência energética e hidráulica é proposta a utilização de plataformas de ML baseadas em soluções digitais que permitiram ajudar a reduzir as perdas de água e o consumo de energia, fornecendo telemetria avançada para controlar a gestão da água e energia com vista a uma rede de água inteligente. Uma abordagem holística de resolução destes problemas é utilizada como uma tecnologia de gestão para apoiar a decisão de controlar a pressão e aproveitá-la como excesso de energia do escoamento. Para isso foi selecionada uma bomba a funcionar como turbina, a ser colocada em paralelo uma VRP existente, como forma de dissipar/aproveitar o excesso de energia do escoamento e transformá-lo em energia elétrica. Deste modo procedeu-se à seleção e recolha de dados dos SML referente à rede do Bairro da Milharada, que dispunha de VRP e registos de caudais. Com a utilização do modelo hidráulico (EPANET), a rede foi calibrada usando a ferramenta baseada em ML, obtiveram-se as CCI (Curva Característica de Instalação) e as da bomba para diferentes velocidades de rotação cuja zona de operação foi selecionada de modo a produzir o máximo de energia.

A procura da turbomáquina que se adaptasse às condições da rede de estudo limitou a oferta do fornecedor KSB. No entanto, para cargas elevadas com caudais pequenos, na situação da rede em estudo, foi aplicada a bomba multicelular Multitec 32-2.1. No caso de estudo, a utilização da PAT torna-se vantajosa, pois além de controlar as pressões consegue produzir energia elétrica ajudando na solução sustentável para a transição energética. As pressões são controladas pela curva de perda de carga, ou curva característica da PAT, e dependem do caudal turbinado. A maior redução de pressão corresponde à situação de maior caudal, ou seja, nas horas de maior consumo. Mesmo neste caso, a redução de pressão mantém-se com valores normais, não prejudicando o funcionamento do abastecimento. Os reduzidos valores de caudal da rede em estudo e os rendimentos da turbomáquina são fatores condicionantes na produção de energia. O tempo de retorno do investimento é da ordem dos 7 a 8 anos conforme obtidos na análise económica desenvolvida, onde este tipo de aplicações se reveste do maior interesse, no que diz respeito à transição energética, à sustentabilidade e melhoria da eficiência das redes de abastecimento.

REFERÊNCIAS

- [1] Samuel, A.L., Some studies in machine learning using the game of checkers. II—recent progress. *Computer Games I*, 1988: p. 366-400.
- [2] Zhang, W., G. Yang, Y. Lin, C. Ji, and M.M. Gupta. On definition of deep learning. in 2018 World automation congress (WAC). 2018. 652 IEEE.
- [3] Ramos, H.M.; McNabola, A.; López-Jiménez, P.A.; Pérez-Sánchez, M. Smart Water Management towards Future Water Sustainable Networks. *Water* 2020, 12, doi:10.3390/w12010058.