

XI-1159 – OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM SMART DIGITAL TWINS: UM ESTUDO DE CASO

Bruno Alexandre Abreu Silva⁽¹⁾

Bruno Alexandre Abreu Silva, Doutorado em Sistemas Energéticos e Alterações Climáticas pela Universidade de Aveiro, em Portugal. Atualmente, exerce funções como Diretor Executivo da empresa SCUBIC onde desenvolvem sistemas avançados para a otimização energética de redes de abastecimento de água.

Miguel da Silva Oliveira⁽²⁾

Miguel da Silva Oliveira, Mestre em Engenharia Eletrotécnica pela Universidade de Coimbra, em Portugal. Atualmente leciona várias disciplinas no departamento de gestão Industrial da universidade de Aveiro, e também exerce funções como diretor de operações na empresa SCUBIC.

Ana Reis⁽³⁾

Mariana Alão⁽⁴⁾

Raquel Costa⁽⁵⁾

Endereço^(1,2,3,4,5): Gotas Digitais, Lda (SCUBIC) - Via do Conhecimento, Edifício Principal, Ílhavo CEP: 3830-352 Portugal, Tel: +351 966561942 - e-mail: brunoabreu@scubic.pt.

RESUMO

As Redes de Abastecimento de Água e Saneamento (RRAAS) são infraestruturas essenciais para qualquer economia desenvolvida. Todos os anos, o setor público de água da União Europeia (EU) transporta 49 bilhões de metros cúbicos de água doce, o que requer cerca de 1,13% da eletricidade atualmente produzida na UE [1]. Isto significa, que os sistemas de água e saneamento são grandes consumidores de energia e consequentemente grandes produtores de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Segundo os dados divulgados pelo governo do Reino Unido em 2021, num relatório denominado “*Global Water Community challenged to join the race to Zero*” [2], concluiu que as emissões de GEE das empresas de água e saneamento correspondem em média a toda a indústria de transporte marítimo mundial. De igual forma, um estudo realizado pela Organização das Nações Unidas, prevê até 2050 um aumento em 55% na demanda por água potável no planeta, devido ao aumento da população e indústria. Ao longo deste artigo, será demonstrado como a utilização de gémeos digitais inteligentes (smart digital twins) da SCUBIC, interligados com os sistemas de controlo e aquisição de informação da rede de abastecimento de água da INOVA-EM em Cantanhede, Portugal, é possível alcançar reduções de 9,8% no consumo energético e consequentemente nas emissões de GEE, assim como reduções de 12,3% com o custo energético.

PALAVRAS-CHAVE:

Gémeos Digitais, Inteligência Artificial, nexa água-energia, energia renováveis; otimização em tempo real;

OBJECTIVOS

Os mercados de energia e os sistemas de abastecimento de água e saneamento estão a tornar-se cada vez mais complexos e incapazes de confiar simplesmente na experiência anterior ou no conhecimento de funcionários experientes. Além disso, a American Water Works Association (AWWA) prevê perdas de 50% e 75% de pessoal experiente nos próximos 10 e 15 anos, respectivamente [3]. A crise provocada pelo COVID exigiu que todos os sistemas sejam operados remotamente sem comprometer a eficiência. Tais circunstâncias motivam o desenvolvimento de soluções avançadas para Redes de Abastecimento de Água e Saneamento (RAAS), no que diz respeito às suas operações, tipicamente muito conservadoras e baseadas em estratégias obsoletas. Adicionalmente, os elevados consumos e custos energéticos das empresas de água e saneamento têm vindo a aumentar devido às crises energéticas e à necessidade de abastecimento de fontes com uso intensivo de energia, como a dessalinização.

Este trabalho, tem como objetivo principal o desenvolvimento e implementação numa rede real, de um sistema de apoio à decisão, também conhecido como um gêmeo digital inteligente. Este sistema tem de ser capaz de prever as demandas de água, simular o comportamento da rede de abastecimento de água, calcular o uso de energia para um determinado cronograma de bombeamento, e otimizar em tempo real todas as operações de elevação de água. Através de uma operação dinâmica, conciliando o funcionamento da bomba com a menor tarifa elétrica e o ajuste ideal da velocidade da bomba é possível o sistema tem também como objetivo reduzir os custos energéticos, melhorar a qualidade do serviço prestado aos consumidores, reduzir as emissões de GEE e ajudar a cumprir as métricas de descarbonização 2030.

INTRODUÇÃO

O acesso à água e à energia são cruciais para a vida humana e para alcançar um desenvolvimento global sustentável. À medida que a população mundial e a indústria crescem, existe uma necessidade cada vez maior por fontes de água potável, assim como, um aumento da procura de eletricidade para satisfazer as necessidades básicas da população. Deste modo, sem esforços adicionais, alcançar os objetivos de descarbonização de 2030 e cumprir com as metas de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas está a tornar-se cada vez mais inexecutável.

As empresas de água e saneamento, têm uma importância bastante grande na qualidade de vida das populações servidas, assim como no esforço necessário para mitigar o impacto das alterações climáticas. Contudo, com o aumento previsto da população, estas entidades têm a necessidade de consumir cada vez mais energia por forma a garantir o abastecimento de água e saneamento, e consequentemente aumentar as emissões de GEE. Ao mesmo tempo, a volatilidade dos mercados energéticos tem resultado num aumento dos custos de energia mais rápido do que a inflação, os quais têm impactado as empresas de abastecimento de água e saneamento. Deste modo, a redução dos custos energéticos e as preocupações com as mudanças climáticas tornaram-se uma grande prioridade para as empresas de abastecimento de água e saneamento de todo o mundo.

Ao analisar os custos operacionais das empresas de abastecimento de água e saneamento, a energia elétrica corresponde a cerca de 30% até 80% dos custos operacionais, de qualquer RAAS [1]. Desta forma, as crises energéticas assim como as crises hídricas têm um profundo impacto na operação dos RAAS, na qualidade do serviço prestado, e no impacto ambiental causado.

Com a introdução de fontes de energia renováveis e de métricas ambientais ambiciosas, os mercados de energia e de RAAS estão a tornar-se cada vez mais complexos, com inúmeras variáveis a ser consideradas na tomada de decisão, e tornando a operação de RAAS incapaz de simplesmente funcionar com base na experiência passada dos operadores. Além disso, a American Water Works Association (AWWA) prevê perdas de 50% de recursos humanos experientes nos próximos 10 anos [3].

Ao analisar a estratégia de operação das redes de abastecimento de água e saneamento, esta não prioriza o consumo de energia de fontes renováveis nem os seus custos. Uma possível solução para este problema é adequar os horários de bombeamento para horários de menor tarifa elétrica [4] e utilizar variadores de velocidade [4, 5]. No entanto, conciliar o funcionamento da bomba com a menor tarifa elétrica e o ajuste ideal da velocidade da bomba não é uma tarefa fácil e é humanamente impossível [1].

Uma das estratégias que está a ser amplamente utilizada para tornar os sistemas de abastecimento de água energeticamente sustentáveis é através da introdução de Fontes de Energia Renováveis (FER) [2]. Uma das razões que os sistemas de abastecimento de água e saneamento são um excelente candidato para integrar eletricidade produzida a partir de fontes intermitentes (como as FER), uma vez que estas têm frequentemente a capacidade de escolher quando consumir energia. Mais, as FER contribuem para mitigar as emissões de GEE, reduzir a dependência da rede de energia e, consequentemente, os efeitos das flutuações dos preços da energia. Contudo, devido à aleatoriedade e volatilidade da geração renovável, é necessário desenvolver uma abordagem integrada que permita aos fornecedores de água prever e tirar o máximo partido da produção de energia renovável, a fim de alcançar a neutralidade energética.

A gestão em tempo real de uma rede de abastecimento de água associada às FER, é uma tarefa altamente complexa que requer ferramentas avançadas. Uma das ferramentas que podem auxiliar nesta gestão diária são gêmeos digitais inteligentes.

O conceito de gêmeos digitais foi consolidado em 2003 por M. Grieves. Estes, foram inicialmente usados para otimizar o ciclo de vida de um produto em relação com o seu design e o processo de manufatura. De acordo com o autor, um modelo de gêmeo digital tem de respeitar 3 fatores: ativos físicos; um modelo virtual, e a

conexão da informação e dados os quais conectam o mundo virtual com o real [6]. Desde desta altura, vários trabalhos de investigação foram publicados sobre as múltiplas aplicações de gêmeos digitais. Embora existam várias publicações sobre as vantagens dos gêmeos digitais em sistemas de distribuição de água, há muitos poucos exemplos reais de gêmeos digitais funcionando em tempo real e ajudando as empresas de gestão de água e saneamento a gerir as suas redes diariamente.

Do ponto de vista dos autores, um verdadeiro gêmeo digital inteligente em tempo real de um RAAS deve atender aos seguintes requisitos:

- Deve replicar com absoluta precisão o comportamento da rede de distribuição e os elementos que podem afetar os padrões de fluxo de água.
- Deve imitar todas as restrições operacionais da rede, especialmente níveis de água de segurança, pressão e quaisquer restrições operacionais que possam afetar o comportamento da rede.
- Deve reproduzir a demanda em todos os pontos de consumo. Dessa forma, as demandas devem ser cadastradas com base na análise de padrões históricos, e como o gêmeo digital que trabalha em tempo real deve estar conectado com dados em tempo real.
- Finalmente, para criar um verdadeiro gêmeo digital inteligente, devem ser definidos os principais objetivos que a gestão da RAAS pretende atingir, nomeadamente reduzir custos, otimizar pressões, aumentar a eficiência, formar respostas de emergência e/ou análise sobre futuras intervenções na rede.

No entanto, para alcançar um gêmeo digital calibrado, a localização dos sensores e a qualidade e confiabilidade dos dados coletados são fundamentais. Ainda assim, este é um processo contínuo de adaptação aos dados disponíveis, e ferramentas poderosas que devem ser desenvolvidas para corrigir falhas ou valores errados. Esses modelos digitais também podem ser enriquecidos com a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*) para aumentar a precisão das demandas, que aprenderão continuamente com os dados do dia a dia.

METODOLOGIA

Por forma a alcançar operação mais eficiente possível, é necessário, numa base diária, bombeia o volume exato de água necessário para satisfazer a população com o menor custo energético possível. No entanto, alcançar a operação ótima requer que os gestores das redes de abastecimento de água tenham de calcular e alterar as operações de bombeamento diariamente, o que é inviável sem a ajuda de ferramentas avançadas.

Ao longo dos anos, muitas soluções e algoritmos foram propostos para otimizar o funcionamento de um RAAS. A SCUBIC desenvolveu um método baseado num algoritmo de optimização dinâmica que é composto por quatro fases interligadas, conforme ilustrado na Imagem 1 [5].

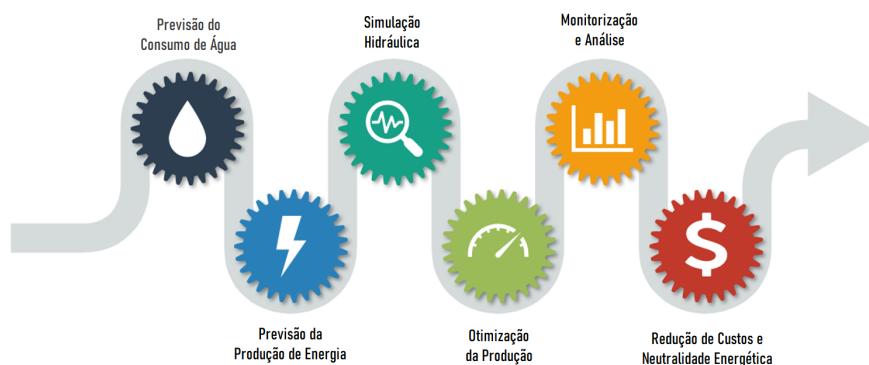


Figure 1 – Metodologia de operação de um gêmeo digital inteligente

Após a aquisição dos dados necessários, o primeiro passo passa pela previsão da demanda de água e da produção de energia; o segundo passo passa pelo desenvolvimento do modelo hidráulico capaz de replicar o comportamento da rede real; o terceiro passo é a conexão do modelo hidráulico com as previsões de demanda, os dados de energia (renovável e dos tarifários) e os algoritmos de optimização, por forma a criar a operação optimizada; por fim, é necessário avaliar e quantificar os custos da operação e monitorizar a redução dos custos e das emissões de GEE.

CASO DE ESTUDO

De acordo com a metodologia descrita anteriormente, a SCUBIC desenvolveu e instalou um gêmeo digital inteligente no sistema de abastecimento de água no Município de Cantanhede, Portugal. Esta rede, é gerida pela empresa municipal INOVA-EM a qual é responsável pela recolha, tratamento, regularização e distribuição de água no município. Apesar de alguma dispersão de aglomerações populacionais, a população residente de cerca de 30.000 habitantes, é servida pelo sistema baseado na captação e estação de tratamento de água de Olhos de Fervença. O sistema no seu conjunto, possui 22 reservatórios de água e 16 bombas elevatórias. Na Figura 2, é possível visualizar uma ilustração da rede de abastecimento de água do município.



Figura 2 – Ilustração da rede de distribuição de água do município de Cantanhede

Desde Setembro de 2018, a empresa dispõe de um sistema solar fotovoltaico instalado na ETA de Olhos de Fervença, como é possível ver na Figura 3. O sistema solar fotovoltaico tem uma capacidade instalada de 62,5kW numa base de auto-consumo, com a possibilidade de vender o excedente de energia à rede eléctrica. Este sistema solar fotovoltaico fornece o sistema de bombagem, bem como a entrada de água. Dado que a capacidade instalada não é suficiente para suprimir as necessidades de energia, somente duas das dez bombas instaladas na ETA, nomeadamente as bombas que abastecem a zona de Mira têm a capacidade de funcionar sem requerer energia extra da rede eléctrica.



Figura 3 – Imagens aéreas da Estação de Tratamento (ETA) de Olhos de Fervença

O principal objetivo deste projeto (gêmeo digital inteligente) passa pela minimização dos custos operacionais, tendo em consideração a combinação da produção de energia renovável disponível e o ajustamento das operações de bombagem à tarifa eléctrica mais econômica, respeitando os vários constrangimentos operacionais da rede, especialmente a demanda de água dos clientes, a pressão, os níveis de segurança dos reservatórios e a qualidade da água.

Com este fim, foi disponibilizado aos operadores na sala de controlo o acesso à plataforma web da SCUBIC, Figura 4. A plataforma é composta por vários módulos, nomeadamente: Módulo de previsão de demanda de água, o módulo de optimização da operação, e o módulo de cálculo das métricas de performance. Nas Figuras seguintes é possível visualizar estes módulos.

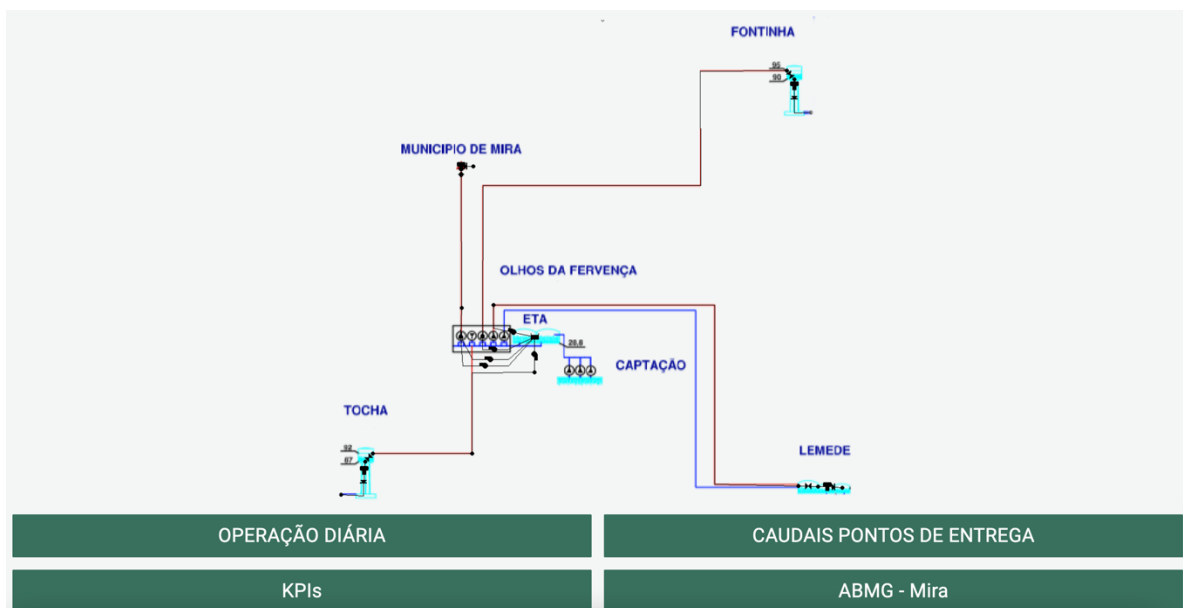


Figura 4 – Plataforma web da SCUBIC

O módulo de previsão de consumos, é possível visualizar a demanda prevista para as próximas 24h assim como os valores reais de consumo. Este módulo é de especial interesse pois permite averiguar se os consumos reais de água estão dentro da normalidade, mas também permite detectar problemas com os dados provenientes dos sensores, e também através do estudo dos caudais noturnos averiguar se estamos perante possíveis perdas de água.

O módulo de optimização da operação, é possível visualizar a previsão da variação do nível de água nos reservatórios para 24h, assim como todas as ordens de operação os quais os operadores têm de cumprir para conseguirem uma operação ótima, i.e. com o menor custo e consumo energético.

Por fim, no módulo de métricas de performance, Figura 5, é possível calcular o custo diário da operação nas diferentes localizações da rede, calcular o consumo e custo energético pelos diferentes tarifários de eletricidade, visualizar a previsão e a produção eléctrica proveniente dos painéis solares instalados, e visualizar as diferentes fontes de eletricidade (da rede ou renovável).

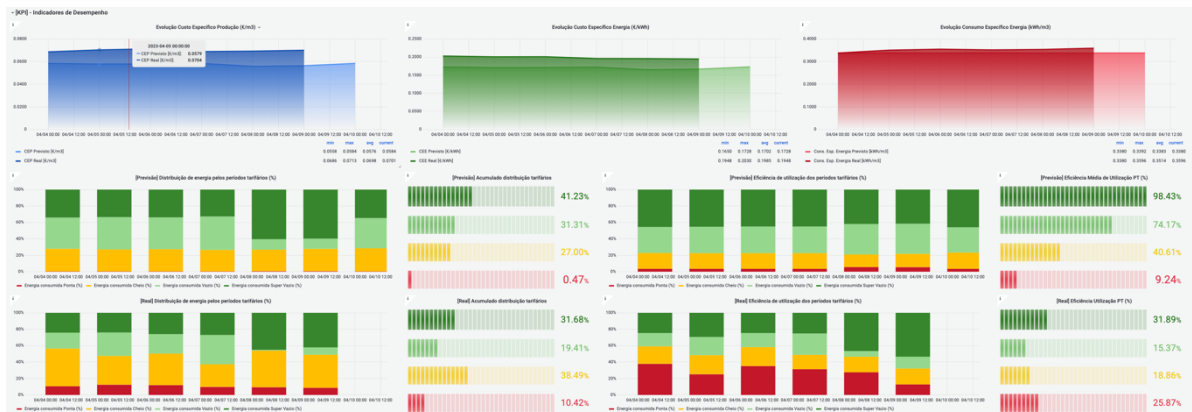


Figura 5 – Módulo de cálculo de métricas de performance da rede da INOVA-EM.

Assim, com o acesso à plataforma é possível ter um sistema que está disponível em qualquer dispositivo móvel e que permite as equipas independente de onde estejam terem acesso a toda a informação da rede e da sua operação.

RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados deste estudo de caso. As figuras 6 e 7 mostram o resultado da gestão operacional do sistema de bombagem Mira em 4 de Maio de 2021, representando a operação normal sem optimização de custos, e em 7 de Maio de 2021 representando a operação com optimização de custos de energia SCUBIC.

Na Figura 6 é possível visualizar que as cores de fundo correspondem às tarifas de energia aplicadas à instalação, i.e. o INOVA dispõem de um contrato em alta tensão o qual tem 4 tarifários energéticos ao longo do dia, nomeadamente do mais económico ao mais caro: Super Vazio das 02 às 06h (verde claro), Vazio das 00h às 02h e 06 às 07h (verde), Cheio das 07h às 09.15h e 12.15h às 23.59h (amarelo), e Peak das 09.15h às 12.15h (vermelho). Outras informações disponíveis são a potência instantânea das duas bombas em paralelo 15kW + 15kW na linha azul, a potência solar fotovoltaica produzida (kW) na linha a mancha amarela, a variação do nível do tanque (%) na linha laranja durante o dia e as restrições dos níveis operacionais máximo e mínimo (linhas horizontais).

Como se pode ver em ambas as figuras, a produção máxima de energia solar fotovoltaica do sistema é obtida nos dois períodos tarifários de energia mais caros (ponta e cheio), i.e. entre as 11h e às 15h. Para que o sistema de bombeamento tire partido da energia renovável disponível, o nível do tanque deve ser mantido a um mínimo enquanto a energia produzida não for suficiente, cumprindo as restrições operacionais. Assim que a energia produzida for suficiente para suprimir o consumo energético das bombas, aciona-se as bombas com consumos iguais ou inferiores à energia produzida, que para este dia foram as bombas da localização de Mira. Caso contrário, se o depósito de água estivesse próximo do limite máximo, não seria possível ligar o sistema de bombeamento, e desta forma não consumir a energia renovável disponível.

A Figura 6, representativa da gestão da operação sem SCUBIC, a potência máxima de produção de energia renovável atingida neste dia é de 53,5 kW. É importante salientar que a água bombeada entre as 8:30 e as 10:00, uma parte da energia consumida provem da rede eléctrica, porque ainda não há energia solar suficiente para abastecer totalmente os sistemas de bombagem. Além disso, o depósito de água já está no nível operacional máximo quando a energia produzida no sistema solar fotovoltaico se torna suficiente para abastecer completamente os sistemas de bombeamento. Para este dia existiria um potencial de optimização dos custos energéticos, dado que poderia ter evitado consumir energia da rede eléctrica entre as 8:30 e as 10:00h, ligando as bombas apenas depois das 9:15h, quando as bombas poderiam ser alimentadas apenas com energia renovável e consumindo energia "gratuita" no período mais caro.

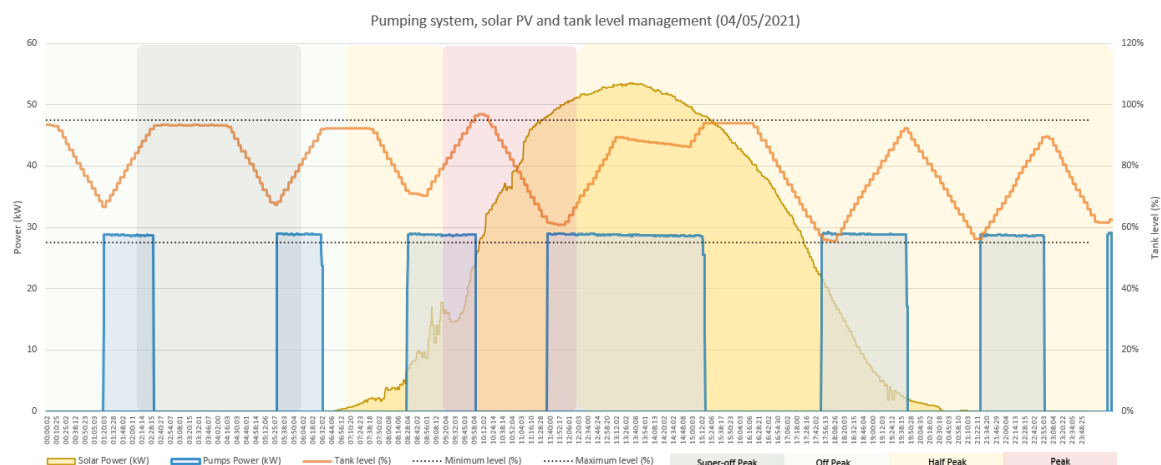


Figura 6 - Gestão operacional sem otimização via um gêmeo digital inteligente em 4 de Maio de 2021

A figura 7 é representativa da gestão operacional otimizada com SCUBIC durante 7 de Maio de 2021. A potência máxima de produção de energia renovável alcançada neste dia é de 54,6 kW, o que é suficiente para fornecer o consumo de energia das elevatórias de Mira. A fim de tirar partido dos períodos tarifários mais baratos (super vazio e o vazio), o sistema de bombagem liga-se durante estes períodos para encher o depósito de água. Após o período de vazio (07h), as bombas são desligadas uma vez que o tanque já está no máximo, evitando assim o consumo de energia durante o período de cheio, e mantendo o nível do tanque próximo do nível mínimo. Assim que a energia produzida pelo painel solar fotovoltaico for suficiente para absorver a potência das bombas, o sistema de bombeamento é ligado restaurando os níveis do tanque de água.

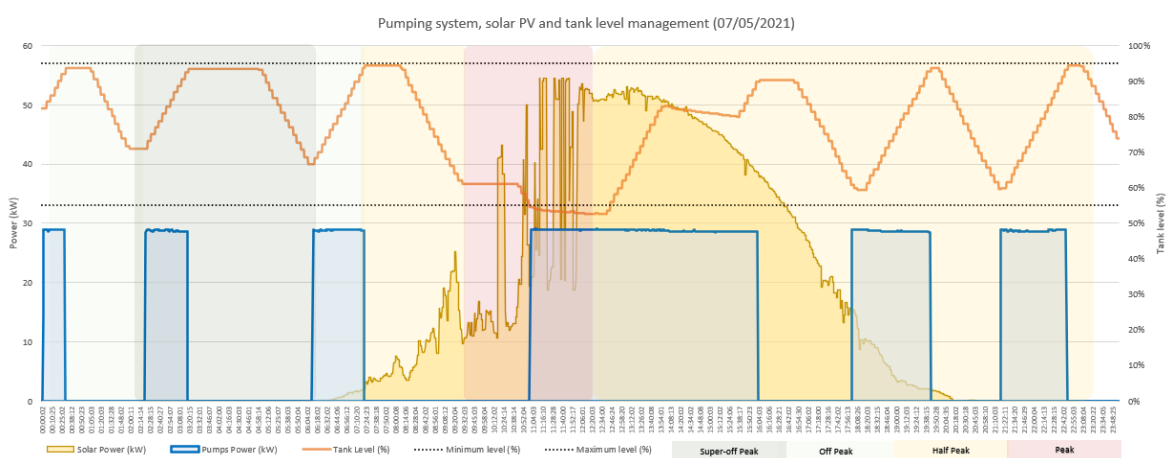


Figura 7 – Gestão operacional com otimização via um gêmeo digital inteligente em 7 de Maio de 2021

Numa operação sem painéis solares fotovoltaicos, é desejável evitar bombear água durante períodos de pico, sempre que possível, para reduzir os custos energéticos. No entanto, nas empresas de abastecimento de água que têm sistemas solares fotovoltaicos instalados, a gestão operacional muda o seu paradigma, dado que a produção de energia renovável atinge o seu potencial máximo no período correspondente à tarifa eléctrica mais cara fornecida pela rede eléctrica.

Na Figura 7, o sistema de bombagem Mira atinge a neutralidade energética da rede eléctrica entre as 11h e as 16h do dia 7 de Maio de 2021. Para que esta gestão operacional e energética seja otimizada juntamente com a energia renovável disponível, é essencial a utilização de ferramentas que permitam prever o consumo de água e a energia que será produzida diariamente, a simulação do comportamento da rede de abastecimento de água e a utilização de algoritmos de optimização que permitam maximizar a utilização de energia renovável para auto-consumo e assim reduzir os custos energéticos e as emissões de GEE.

Considerando apenas o sistema de bombagem Mira nos dois dias representados, houve uma redução no custo específico da energia de 0,1215 euros/kWh a 4 de Maio para 0,1201 euros/kWh a 7 de Maio. Isto representa uma poupança de 1,2% quando apenas comparados estes dois dias. Contudo, com a aplicação deste gêmeo digital inteligente, foi possível combinar as demandas de água com a produção de água, mudar a operação de bombeamento para a hora do dia em que a energia é mais barata e reduzir drasticamente os custos operacionais. É de notar que nos exemplos apresentados, as bombas Mira não absorveram toda a energia solar produzida, permitindo que a energia solar durante os períodos de pico de produção fosse também consumida nas bombas da captação, pelo sistema SCADA e pela iluminação dos edifícios.

Na Figura 8, é possível avaliar os resultados obtidos de toda a operação durante o ano de 2021 comparativamente com 2020, os quais mostram uma redução nos custos operacionais de 12,3% em €/kWh e 21% em €/m³. Além disso, através da seleção das bombas mais eficientes foi possível aumentar a eficiência em até 9,8% em kWh/m³. Mais, devido à alta precisão das previsões, foi possível aumentar a segurança do operacional enviando alarmes caso algum consumo anormal fosse detectado.

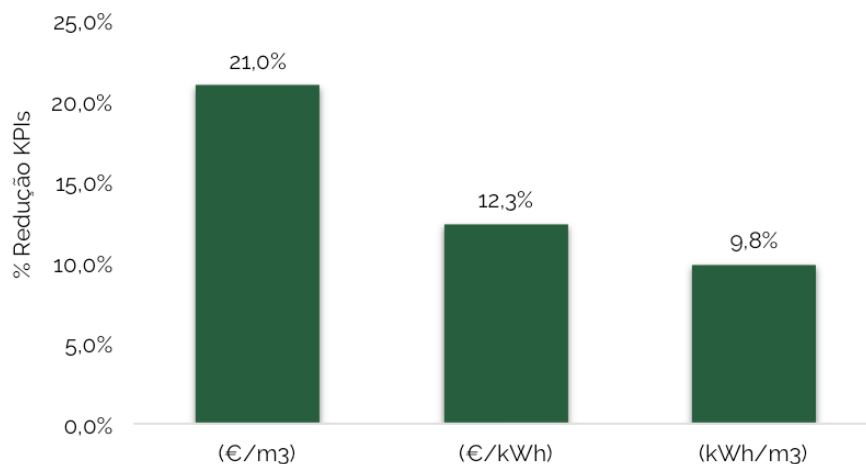


Figura 8 – Redução das métricas alcançada na rede de distribuição de água da INOVA-EM.

CONCLUSÕES

Os gêmeos digitais inteligentes são uma das tecnologias mais promissoras para atingir os objetivos de reduzir custos, aumentar a segurança da rede e da água e aumentar a sustentabilidade dos recursos hídricos. Este trabalho apresenta todos os esforços desenvolvidos pela SCUBIC para desenvolver um sistema inteligente e autónomo de gestão da distribuição de água do Município de Cantanhede, que não necessite de qualquer intervenção humana para encontrar o menor custo de operação garantindo ao mesmo tempo a procura de água na rede de distribuição. Os benefícios comprovados garantem que essas soluções se tornem habituais nos sistemas de água inteligentes mais avançados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente apoiado pela Bolsa de Doutoramento MPP2030-FCT e bolsas de projecto através do Programa Operacional Regional da Região Centro (CENTRO202020) no âmbito do projecto I-RETIS-WATER (CENTRO-01-0247-FEDER-069857), o UIDB/00308/2020, e MAnAGER (POCI-01-0145-FEDER-028040) através do Fundo Social Europeu, do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional e dos Programas COMPETE 2020, da Fundação para a Ciência e Tecnologia FCT-Portuguesa, e da Iniciativa Energia para a Sustentabilidade da Universidade de Coimbra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. B. Coelho and A. Andrade-Capós, "Efficiency achievement in water supply systems — A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 30, pp. 59–84, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.09.010

2. Harry, S. & Highmore-Talbot, E. *World Water Day 2021: Global water community challenged to join the Race to Zero*. <https://www.water.org.uk/news-item/world-water-day-2021-global-water-community-challenged-to-join-the-race-to-zero/> (2021).
3. 2019 WATER AND WASTEWATER RATE SURVEY, Book 54009-19, American Water Works Association, 2019. <https://www.awwa.org/>
4. E. Salomons, A. Goryashko, U. Shamir, Z. Rao, and S. Alvisi, Optimizing the operation of the Haifa-A water-distribution network, J. Hydroinformatics, vol. 9, no. 1, p. 65, 2007. <https://doi.org/10.2166/hydro.2006.017>
5. Nasir Khalid, Efficient energy management: is variable frequency drives the solution, Procedia - Social and Behavioral Sciences 145 (2014) 371 – 376.
6. Grieves, Michael. 2018. *Virtual Twin : Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication A White Paper by Dr. Michael Grieves*.
7. P. Conejos Fuertes, F. Martínez Alzamora, M. Hervás Carot & J.C. Alonso Campos (2020) Building and exploiting a Digital Twin for the management of drinking water distribution networks, Urban Water Journal, 17:8, 704-713, DOI: [10.1080/1573062X.2020.1771382](https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1771382)