

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Digital Twins nos recursos hídricos



Projeto FEUP 2024/25 - Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial:

Coordenação

Geral: Manuel Firmino e Sara Ferreira

De curso: Pedro Amorim

Equipa 1L.EGI05_1

Supervisor: Pedro Amorim

Monitor: David Ramos

Estudantes & Autores

Gonçalo José Loureiro Soares up202405158@up.pt

Gustavo Rafael Almeida Maia up202405349@up.pt

Madalena Guimarães Mota up202406848@up.pt

Tiago Filipe Pereira da Rocha up202405341@up.pt

21 de novembro de 2024

Resumo

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular Projeto FEUP, abordando o uso de Digital Twins na indústria e serviços, especialmente nos recursos hídricos. O estudo enfatiza a relevância deste recurso essencial e a necessidade urgente de soluções inovadoras para os desafios relacionados à sua gestão e uso sustentável, destacando os Digital Twins como uma dessas abordagens promissoras.

O relatório começa com uma contextualização detalhada sobre a importância da água, explorando os desafios globais, como escassez, poluição e mudanças climáticas, e introduzimos o conceito de Digital Twins como ferramenta para apoiar a gestão eficiente e sustentável deste recurso. Dividimos o trabalho em dois principais subtemas:

1. Gestão e tratamento de recursos hídricos;
2. A aplicação de Digital Twins na vertente hídrica da agricultura, dada sua relevância estratégica para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável.

Ao longo do estudo, apresentámos casos de estudo relevantes e dados concretos, evidenciando as aplicações práticas e os benefícios dos Digital Twins, como a previsão de cenários, a otimização de processos e a melhoria na tomada de decisão. Concluimos o trabalho com uma reflexão sobre o impacto destas tecnologias nas metas estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, com especial atenção ao ODS 6, que trata da água limpa e saneamento, e ao ODS 12, relacionado ao consumo e produção responsáveis.

Este relatório visa, assim, contribuir para o debate e desenvolvimento de estratégias inovadoras na gestão de recursos hídricos, alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

Palavras-Chave: Digital Twin, recursos hídricos, sensores, Internet, sustentabilidade.

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar a nossa gratidão ao monitor, David Ramos, pelo acompanhamento dedicado ao longo deste projeto, bem como pelo apoio prestado na elaboração dos conteúdos deste relatório e na preparação da apresentação final. Além disso, agradecemos à FEUP pela oportunidade de participar neste projeto, que não apenas nos proporcionou uma experiência prática enriquecedora, mas também contribuiu para o nosso crescimento pessoal e científico, especialmente através das palestras inspiradoras realizadas no âmbito do Projeto FEUP.

Índice

Lista de Figuras	I
Lista de Tabelas	II
Lista de Acrónimos/Siglas e Glossário	III
1. Introdução.....	1
2. Gestão e Tratamento de Recursos Hídricos	2
2.1 Metodologia.....	3
2.2. Casos de estudo	5
2.2.1. H2PORTO, Porto, Portugal.....	5
2.2.2. EPANET, Lisboa, Portugal.....	9
3. Digital twins na vertente hídrica da agricultura	11
3.1. AI4WATER.....	14
3.2. Digital twins na gestão da água para irrigação de plantações	16
3.2.1. Cenário de aplicação	16
3.2.2. Sistema.....	17
3.2.3. Plataforma IoT:	18
3.2.4. Modelo de informação	20
3.2.5. Simulação do Sistema de irrigação	20
4. Conclusões.....	21
Referências bibliográficas.....	22

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema do método de redução das perdas (Marta, 2021).....	4
Figura 2 - Visualização de todos os sistemas de abastecimento de água, drenagem e costeiros do Porto através de uma página web GIS (Joaquim P. Martins. 2019)	5
Figura 3 - Utilização de "OpenFlows SewerGEMS" na criação digital de um modelo (Bentley OpenFlows for Water Infrastructure. 2019)	6
Figura 4 - Utilização de "OpenFlows FLOOD" no previsão de possíveis cheias (Bentley OpenFlows for Water Infrastructure. 2019)	6
Figura 5 - Evolução após a implementação do H2Porto, desde 2016 até 2021 (ESITHOUGHTLAB – RiskierWorld. 2021).....	7
Figura 6 - Comparação de resultados operacionais (2016/2017) na fase inicial do projeto (Águas e Energia do Porto. 2018)	8
Figura 7 - Consumo de água sem recurso a DTs (Marta, 2021).....	10
Figura 8 – Consumo de água com recurso a DTs (Marta, 2021).....	10
Figura 9 - Níveis de maturidade dos DTs nas diferentes áreas da agricultura (Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021)	11
Figura 10 - Áreas de utilização de DTs na agricultura (Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021)	12
Figura 11 - Utilização de DTs em outras áreas da indústria (Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021)	13
Figura 12 - Robô móvel e adaptado ao ambiente agrícola (Camps, A, C. López-Martínez, A. Gonga, G Gracia, A. Perez-Portero, A. Alonso-Gonzalez, M. Vall-Llossera. 2021).....	14
Figura 13 - Representação esquematizada do processo entre mundo físico e o digital Camps, A, C. López-Martínez, A. Gonga, G Gracia, A. Perez-Portero, A. Alonso-Gonzalez, M. Vall-Llossera. 2021)	15
Figura 14 - Representação do sistema de irrigação (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)	16
Figura 15 – Sistema do digital twin (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)	17
Figura 16 – Componentes da plataforma IoT (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023).....	18
Figura 17 – Modelo de informação da plantação (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023).....	20
Figura 18 - Simulação do sistema de irrigação (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023).....	20

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Consumo de água (com e sem recurso a DTs) (Marta, 2021)

Lista de Acrónimos/Siglas e Glossário

Aspersores - Os aspersores são um dos principais componentes de um sistema de irrigação por aspersão. Eles operam sob pressão e fazem o lançamento do jato de água no ar, que é fracionado em gotas, caindo sobre a área em forma de chuva artificial.

Dashboard - É um painel de visualização que exhibe dados de forma organizada e clara.

DT- sigla representativa de “Digital Twin”.

Evapotranspiração - A evapotranspiração é um processo que pode ser definido como a evaporação da água do solo mais a transpiração das plantas. Por meio deste processo, a água é devolvida à atmosfera, estando diretamente relacionado com o ciclo da água.

GIS- sigla representativa de “geographic information system”, método que fornece uma lista completa dos componentes ao longo da rede e suas localizações geográficas. Essa ferramenta permite incluir os elementos espaciais num modelo orientado, o que melhora o planejamento e a gestão ao proporcionar uma visão clara da evolução dos componentes na rede. A principal vantagem do GIS é a capacidade de simular características reais, utilizando um sistema de dados que foi projetado para recolher, armazenar, receber, compartilhar, manipular, analisar e apresentar informações referenciadas geograficamente.

SCADA - sigla representativa de “supervisor, control and data acquisition”, método que se refere ao uso da capacidade de memória e armazenamento, assim como da capacidade de cálculo de computadores e servidores, que são compartilhados e conectados via internet. Esse processo geralmente utiliza a coleta de dados históricos de sensores para controlar, de maneira centralizada, os ativos distribuídos espacialmente.

1. Introdução

A água é um recurso essencial para a vida na Terra. É um bem comum que ocupa cerca de 70% da superfície da Terra, sendo indispensável para o funcionamento dos diversos ecossistemas. A escassez de água limpa/potável pode levar ao surgimento de diversas crises sociais, económicas e ambientais que impossibilitam uma sustentável e viável gestão dos recursos globais.

O aumento populacional global e a contemporânea “Era Digital” implica o acréscimo do consumo de fontes de energia. Diversos acordos multinacionais e internacionais impõem a restrição do uso de fontes não-renováveis, aumentando a importância de recursos como a água (recurso renovável) para o bom desempenho do planeta.

Sendo assim, surge a necessidade da implementação de novos processos e dinâmicas em ascensão com o “movimento” da Indústria 4.0, tais como a utilização de Digital Twins para fazer uma gestão otimizada da água.

Os Digital Twins são ciber-representações de um objeto feitas através da utilização de sensores e partilha de dados a tempo real pelos mesmos. O funcionamento de DTs baseia-se na utilização da “Internet of things” (IoTs), conceito que abrange uma variedade de conjuntos de dispositivos interconectados entre si assim como os meios tecnológicos que facilitam a comunicação entre estes. A finalidade dos mesmos é obter uma representação digital fidedigna do objeto/recurso em estudo e assim obter informações relevantes para a manutenção e para possíveis melhorias.

A nível industrial, os Digital Twins demonstram uma crescente utilização e relevância, algo previsível tendo em conta que facilitam a manutenção e a correta utilização das tecnologias, deixando os diferentes processos inerentes, por exemplo, a produção, mais sustentáveis, tanto a nível ecológico como a nível económico. Os DT asseguram a segurança do funcionamento e utilização das diferentes infraestruturas às quais são aplicadas.

Neste relatório, pretendemos analisar este alarmante tema e transmitir ideias em como o resolver, utilizando meios “eco-friendly” e que se enquadram na realidade tecnológica contemporânea, nomeadamente, Digital Twins, enumerando diversos exemplos relevantes aos temas abordados.

2. Gestão e Tratamento de Recursos Hídricos

Face ao investimento geralmente reduzido feito nas últimas duas décadas pelas entidades gestoras de água, a maioria dos sistemas de água está atualmente envelhecida e as suas infraestruturas estão frequentemente sobrecarregadas. As redes de água operam muitas vezes para além do seu tempo de vida útil pretendido ou previsto, frequentemente com negligência na manutenção, não acompanhando o crescimento populacional e, conseqüentemente, o aumento do consumo, provocando falhas no abastecimento, perdas excessivas de água em sistemas sujeitos a roturas/fugas, e transbordos de albufeiras.

A eficiência dos sistemas hídricos passou a ser uma preocupação importante das entidades gestoras. Sendo assim, diversos sistemas modernos e tecnológicos têm sido desenvolvidos com a integração dos DTs.

No contexto de saneamento e tratamento de águas, o uso de DTs oferece uma vantagem significativa, pois possibilita a otimização de processos, reduzindo desperdícios e otimizando a eficiência energética dos sistemas hídricos. Para além disso, os DTs oferecem ainda a vantagem de identificar a urgência pela renovação dos diferentes componentes do sistema, ajudando a evitar possíveis problemas severos para a correta utilização da água. Esse tipo de monitorização e ajuste dinâmico é vital para minimizar o impacto ecológico das operações de saneamento, contribuir para a preservação dos recursos hídricos e diminuir os custos de manutenção das redes hídricas.

A IA pode também ser uma ferramenta extremamente útil, ainda para mais quando conjugada com a utilização de DTs. Estas duas ferramentas em conjunto podem ser utilizadas nas diferentes infraestruturas, sendo capazes de detetar problemas, chegar a uma possível resposta/resolução para os mesmos, aplicá-la e aprender sobre a eficiência da mesma.

Dessa forma, os Digital Twins surgem como uma tecnologia central para uma abordagem sustentável e inteligente da gestão hídrica nas cidades modernas, facilitando uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos e promovendo o bem-estar da população. Ao longo deste capítulo, exploraremos o impacto dos DTs na gestão de saneamento urbano e recursos hídricos, destacando exemplos e práticas de referência que ilustram como esta tecnologia pode contribuir para a criação de um futuro urbano mais sustentável e resiliente.

Uma metodologia para reduzir vazamentos e perdas de água foi desenvolvida e posta em uso em diversas regiões. Esta metodologia baseia-se na utilização de Sensores Inteligentes e de Digital Twins.

2.1 Metodologia

Após a análise do documento da referência bibliográfica (Marta 2021), apresenta-se um método com o intuito de aumentar a eficiência das redes hídricas e reduzir as perdas:

1º passo – Ao longo da rede são distribuídos diversos sensores inteligentes que detetam quaisquer anomalias (perda ou fuga anormal de água), que alertam o sistema digital e a base de dados. Com esta recolha, aumentam a informação necessária para identificar problemas futuros na rede;

2º passo – Com a informação recebida, o sistema digital simula virtualmente a fuga de água na rede real. Para isso, analisa as perdas de caudal, de pressão e de carga registadas ao longo da rede;

3º passo – Posteriormente, a causa da fuga é analisada para encontrar a solução mais eficiente. As causas podem ser, por exemplo, uma rutura de um tubo, uma ligação ilegal e defeitos na zona de abastecimento;

4º passo – De seguida, simulam-se diferentes soluções no modelo virtual e analisam-se os seus efeitos na rede real, de maneira a seleccionar quais as ações que se podem efetuar.

5º passo – Os DT's ordenam aos mecanismos da rede real para prosseguir com a solução escolhida. Dependendo da solução escolhida, o tempo da ação varia;

6º passo – Por último, depois de realizarem a ordem, é importante um feedback para se perceber se o problema foi resolvido e para enriquecer a plataforma digital com novos dados, que permitem enriquecer os recursos e melhorar a eficiência em anomalias futuras.

No fundo, é uma aprendizagem e uma melhoria contínua. (Marta, 2021)

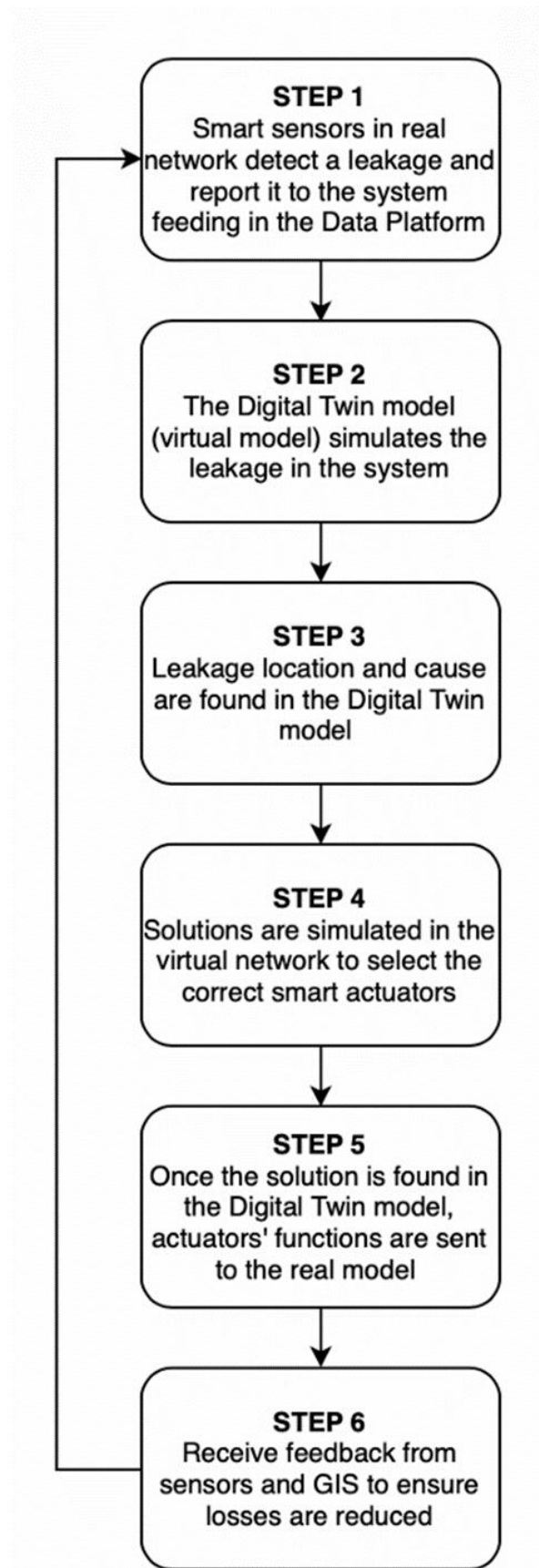


Figura 1 - Esquema do método de redução das perdas (Marta, 2021)

2.2. Casos de estudo

2.2.1. H2PORTO, Porto, Portugal

A cidade do Porto é atualmente uma referência em termos de gestão do ciclo urbano da água, especialmente na reabilitação de ribeiras e praias, além de implementar estratégias eficazes para reduzir perdas de água e de energia. Como muitas cidades, o Porto desenvolveu seu sistema de abastecimento de água em etapas ao longo do tempo, adotando desde 1887 modelos de gestão e soluções técnicas que têm sido continuamente aprimorados. A cidade conta com estações de tratamento de água modernas, com menos de vinte anos, e quase a totalidade das suas ruas possui cobertura de água e saneamento, aproximando-se de um índice de cobertura de 100%. (Joaquim, 2019).

A elevada densidade e complexidade das infraestruturas hidráulicas e dos recursos hídricos na cidade do Porto tornam essencial uma gestão integrada do ciclo da água, mas também apresentam desafios para unificar os muitos sistemas utilizados pela empresa. Para coordenar os dados coletados em tempo real, provenientes de diversos sistemas e fontes distribuídos por dezenas de softwares independentes, a AdP (Águas do Porto) optou por desenvolver, em 2016, a “Plataforma Tecnológica para a Gestão Integrada do Ciclo Urbano da Água – H2PORTO.”

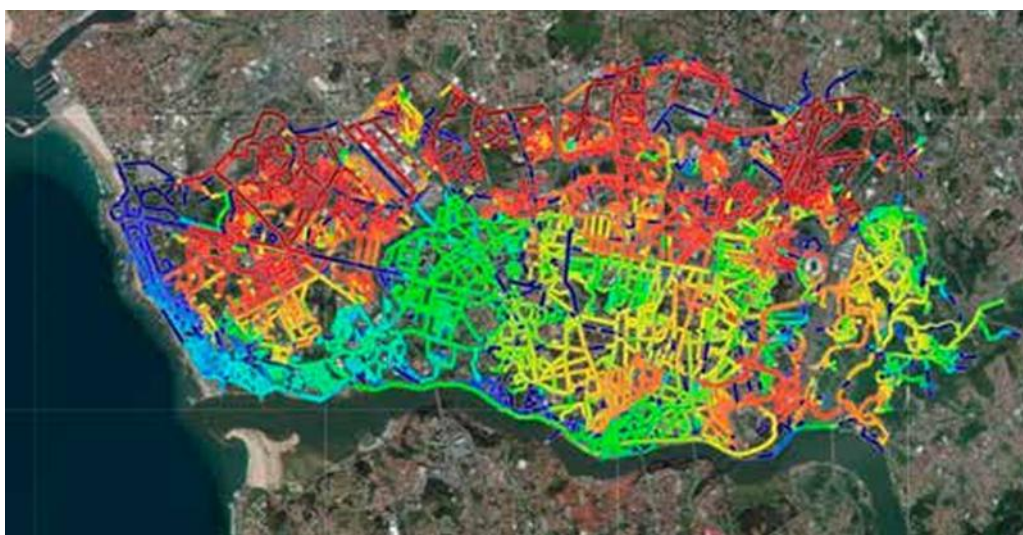


Figura 2 - Visualização de todos os sistemas de abastecimento de água, drenagem e costeiros do Porto através de uma página web GIS (Joaquim P. Martins. 2019)

O principal objetivo da empresa de Águas do Porto foi estabelecer uma gestão integrada do ciclo da água, adequada ao contexto de uma cidade inteligente. Para alcançar essa meta, a empresa desenvolveu uma solução de análise operacional que permite antecipar o desempenho do sistema, detetar falhas antecipadamente e recomendar ações baseadas em dados dos ativos. Para isso, utilizou Digital Twins, sendo criada uma plataforma online – H2PORTO - que consolida diversas fontes de dados, incluindo GIS, sensores da rede em tempo real, medidores residenciais, SCADA, laboratórios, sistemas de faturação, ordens de serviço e logística. Estes dados são integrados para gerar oportunidades de negócio, com indicadores e painéis de monitorização. Além disso, a plataforma é capaz de prever o comportamento da rede hídrica, desde a precipitação até à qualidade das águas balneares, contribuindo assim para uma gestão completa e eficiente do ciclo urbano da água.

Inclusive, foram também utilizados diversos softwares, como “OpenFlows FLOOD” e “OpenFlows SewerGEMS”, criados pela empresa “Bentley”, que forneceram capacidades para modelagem de cenários hipotéticos. Essas funcionalidades foram fundamentais para o desenvolvimento de soluções proativas e sustentáveis no projeto, ajudando o Porto a antecipar e a gerenciar situações como inundações.



Figura 3 - Utilização de “OpenFlows SewerGEMS” na criação digital de um modelo (Bentley OpenFlows for Water Infrastructure. 2019)



Figura 4 - Utilização de “OpenFlows FLOOD” na previsão de possíveis cheias (Bentley OpenFlows for Water Infrastructure. 2019)

Com o H2PORTO totalmente em operação, a cidade do Porto tornou o seu sistema de abastecimento de água mais resiliente, garantindo um fornecimento confiável tanto para os moradores quanto para os turistas. As interrupções no abastecimento caíram 22,9%, enquanto os colapsos na rede de esgoto diminuíram 54%. Houve também uma melhoria nas reparações, com um aumento de 8,3% na eficiência de consertos de ruturas de tubulações e 44,5% nos sistemas de esgoto e serviços

de conexão. Essas melhorias permitem um abastecimento de água mais consistente na região. Além disso, o volume de água não contabilizada (água não faturada) reduziu 3,6%. Com o acesso em quase tempo real às condições do sistema de água, a AdP (Águas do Porto) obteve ganhos operacionais de 23% (Dados de 2021).

O modelo automatizado de sistema de água permite que a AdP responda rapidamente a problemas potenciais. A unificação dos dados, antes separados, aumentou a precisão das leituras dos contadores para quase 99%, o que aprimora significativamente a tomada de decisões em toda a organização (Construction Supply Magazine, 2022).

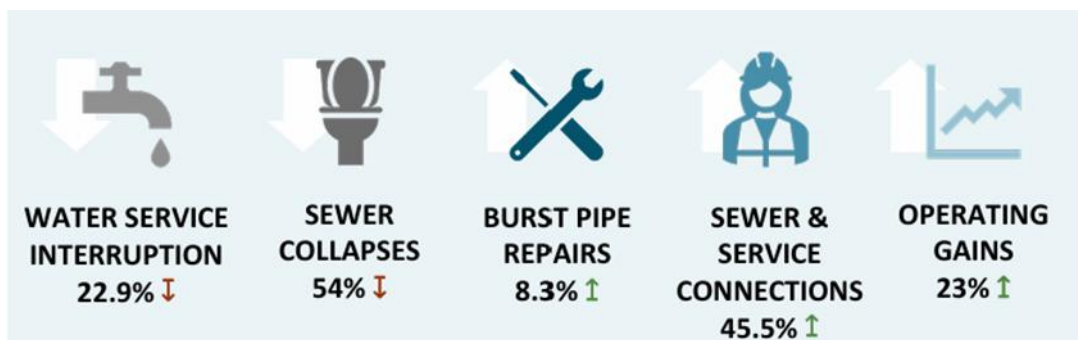


Figura 5 - Evolução após a implementação do H2Porto, desde 2016 até 2021 (ESITHOUGHTLAB – RiskierWorld. 2021)

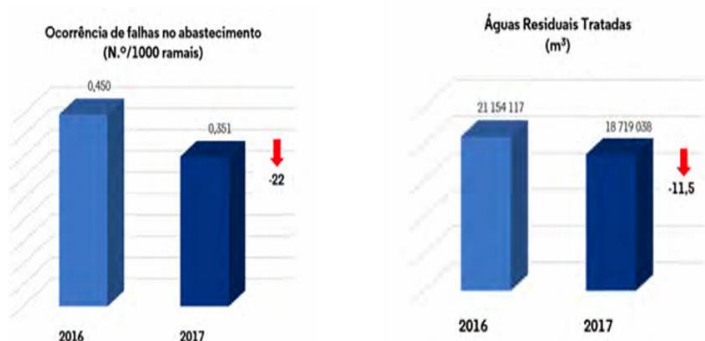
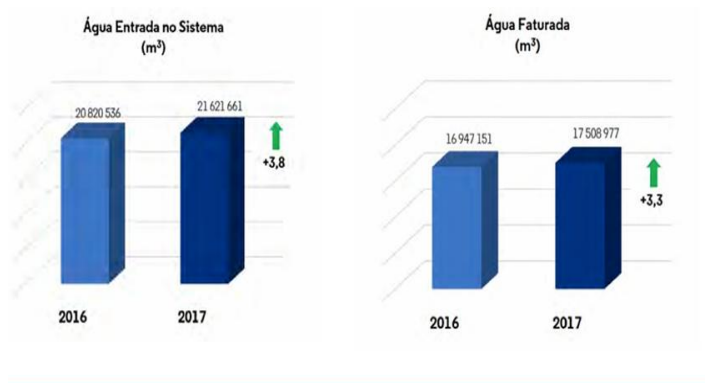


Figura 6 - Comparação de resultados operacionais (2016/2017) na fase inicial do projeto (Águas e Energia do Porto, 2018)

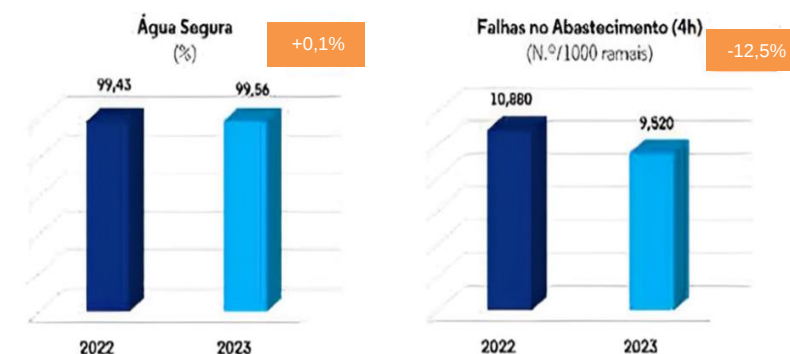
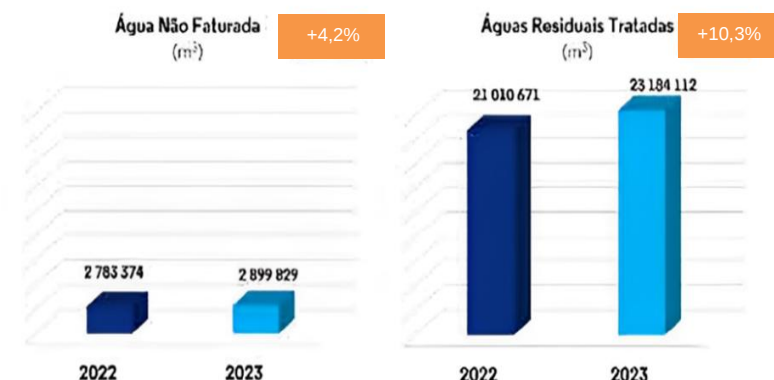
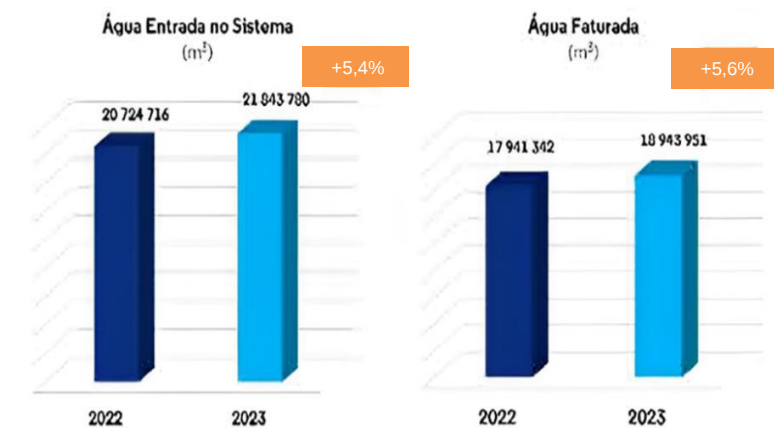


Figura 5 - Comparação de resultados operacionais (2022/2023) na fase mais recente do projeto (Águas e Energia do Porto, 2024)

Perante os dados acima apresentados, pode-se concluir que a cidade do Porto tem sido indiscutivelmente um caso de sucesso no que diz respeito à aplicação de DTs nos recursos hídricos, o que faz com que esta se aproxime das Cidades Inteligentes, ou seja, as Cidades 4.0.

2.2.2. EPANET, Lisboa, Portugal

Para além da cidade do Porto, também em Lisboa está presente uma complexa e densa rede hídrica. Segundo a **EPAL**, empresa responsável pela distribuição de água em Lisboa, a rede de abastecimento de água da cidade, conta com aproximadamente 1500KM de condutas e sistemas de distribuição. A sua dimensão cria a necessidade pela utilização de sistemas inteligentes para a monitorização das redes hídricas, em analogia com a cidade do Porto.

Em Benfica, foi estudada a eficiência da utilização dos DTs ao longo de 1 dia na rede de distribuição de água, utilizando a plataforma **EPANET**.

Esta Plataforma foi criada pela **EPA** (Agência de Proteção do Ambiente dos Estados Unidos) em 1993. É uma plataforma capaz de realizar simulações extensas do funcionamento e comportamento da água nas condutas, regulando o fluxo, a pressão, fugas e outras variáveis ao longo da rede hídrica.

A **EPANET** apresenta, então, uma infinidade de vantagens no que conta ao estudo e análise de redes hídricas. De entre elas estão:

Vantagens/capacidades na gestão de fluxo:

- O estudo das redes não é limitado pela dimensão da mesma;
- Calcula os custos e a energia consumida;
- Simula tanto fluxos constantes como fluxos variáveis.

Vantagens/capacidades na gestão de qualidade:

- Averigua a idade da água ao longo da rede;
- Prevê o comportamento e movimento de material radiativo;
- Prevê o movimento de material não reativo.

Para além disso, existem ainda extensões que podem ser utilizadas no programa de forma a obter novas funcionalidades tais como o **EPANET-RTX** (Real-Time eXtension). Esta extensão permite uma conexão direta entre o programa (**EPANET**) e uma base de dados, possibilitando a criação de modelos digitais e atualizando-os a tempo real. Assim, esta extensão possibilita a criação de um modelo digital dinâmico e versátil, ou seja, um Digital Twin.

Existe ainda a extensão **EPANET-MSX** (Multi-Species eXtension) que adiciona a possibilidade de simular reações químicas complexas, podendo assim, por exemplo, estudar a decomposição dos materiais utilizados ao longo da rede hidráulica.

Tal como na cidade do Porto, ao utilizar a metodologia acima indicada com recurso a DTs, os resultados foram extremamente esclarecedores e positivos. Comparando o consumo e desperdício de água ao longo de um dia, face à existência de um problema, neste caso, uma fuga, os DTs foram capazes de praticamente anular os efeitos da fuga em questão de horas, sendo clara a diferença de consumo em relação à amostra tipo:

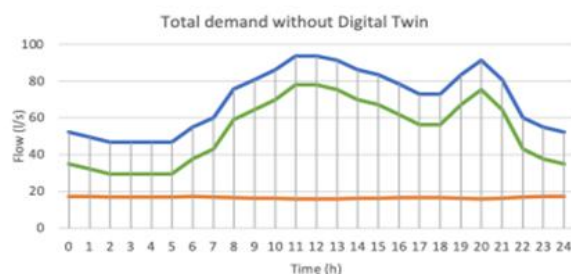


Figura 7 - Consumo de água sem recurso a DTs (Marta, 2021)

Verde: Consumo esperado; Azul: Consumo total; Laranja: Fuga.

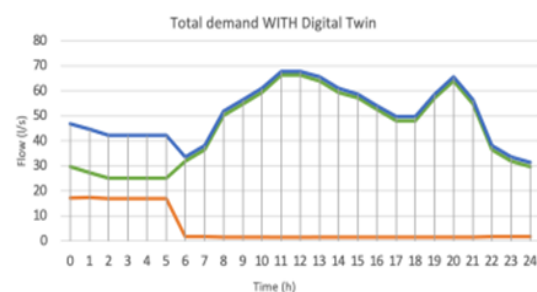


Figura 8 – Consumo de água com recurso a DTs (Marta, 2021)

Verde: Consumo esperado; Azul: Consumo total; Laranja: Fuga.

Tabela 1 – Consumo de água (com e sem recurso a DTs) (Marta 2021)

	Sem DTs (1000L/dia)	Com DTs (1000L/dia)	ÁGUA POUPADA
Consumo sem fuga	4767	4054	14.9%
Água desperdiçada	1498	483	67.7%
Total de água consumida	6265	4537	27.5%

Em conclusão, também na cidade de Lisboa, em específico em Benfica, é clara a eficácia da utilização de DTs para a poupança de água sustentável, um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) estabelecido pela **ONU**.

3. Digital twins na vertente hídrica da agricultura

A agricultura, por natureza, é uma indústria antiquada. A introdução de inovações tecnológicas, atuais e emergentes, na agricultura, tem-se provado difícil nas últimas décadas.

Foi realizado um estudo que teve por objetivo responder a duas perguntas. A primeira é: “Até que ponto DTs foram aplicados na agricultura, em relação a outros setores e contextos?” A segunda foi: “Quais os potenciais programas para a sua introdução na agricultura?”. Também se comparou influência dos DTs na evolução da agricultura moderna em comparação à sua influência noutros setores e contextos.

Por fim, foram encontrados 28 casos relevantes à pesquisa. Relativamente a DTs nas outras áreas da indústria, foram estudados 68 casos.

Cada um dos 28 casos foi analisado e simplificado para 5 características que ajudassem posteriormente na organização de dados. As características correspondem a:

- uma pequena síntese do digital twin;
- os benefícios que este traz;
- o tipo de physical twin:
 1. Conceptual;
 2. Protótipo;
 3. Implementado.
- Serviços integrados:
 1. Monitoramento a tempo real;
 2. Análise de falhas no sistema;
 3. Otimização;
 4. Ferramentas para integração da tecnologia;
 5. Acompanhamento do gasto de energia

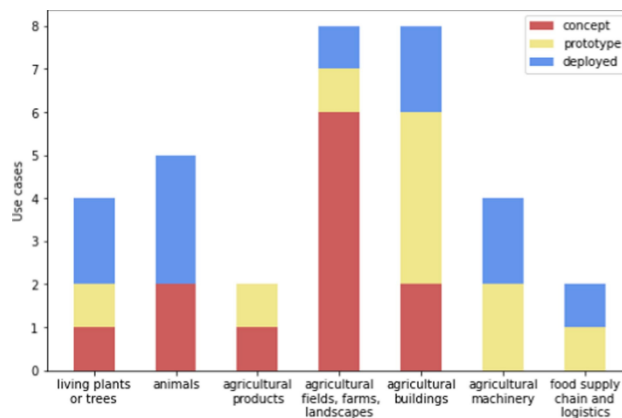


Figura 9 - Níveis de maturidade dos DTs nas diferentes áreas da agricultura (Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021)

O gráfico demonstra a pouca implementação dos DT na indústria agrícola, principalmente nos setores de campos agrícolas, enquanto os setores mais avançados são Maquinaria agrícola e Cadeia de abastecimento alimentar e administração.

As vantagens a que se chegou, por tipo de digital twin, foi a seguinte:

- Plantas, árvores e animais:
 - Identificação prévia de doenças;
 - Otimização de produção.
- Produtos agrícolas:
 - Redução de custos;
 - Melhor qualidade.
- Campos agrícolas e quintas:
 - Suporte em decisões administrativas.
- Construções agrícolas:
 - Aumento de produção;
 - Gerenciamento de condições.
- Maquinaria agrícola e Cadeia de abastecimento alimentar e administração:
 - Redução de custos;
 - Menor poluição e desperdício.

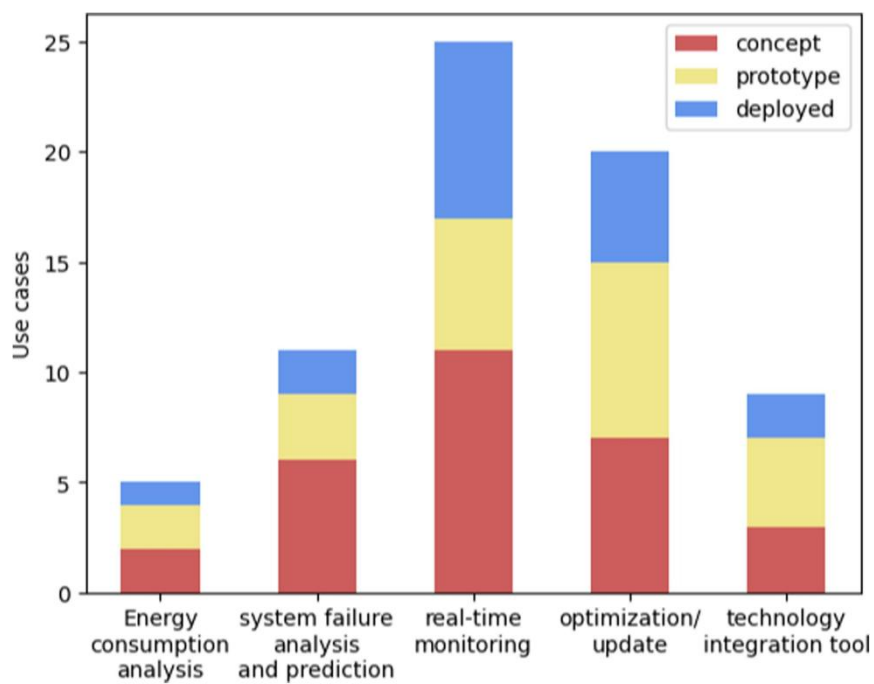


Figura 10 - Áreas de utilização de DTs na agricultura (Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021)

Os investigadores concluíram que não há nenhum padrão entre os serviços integrados e o quão avançado a implementação do DT.

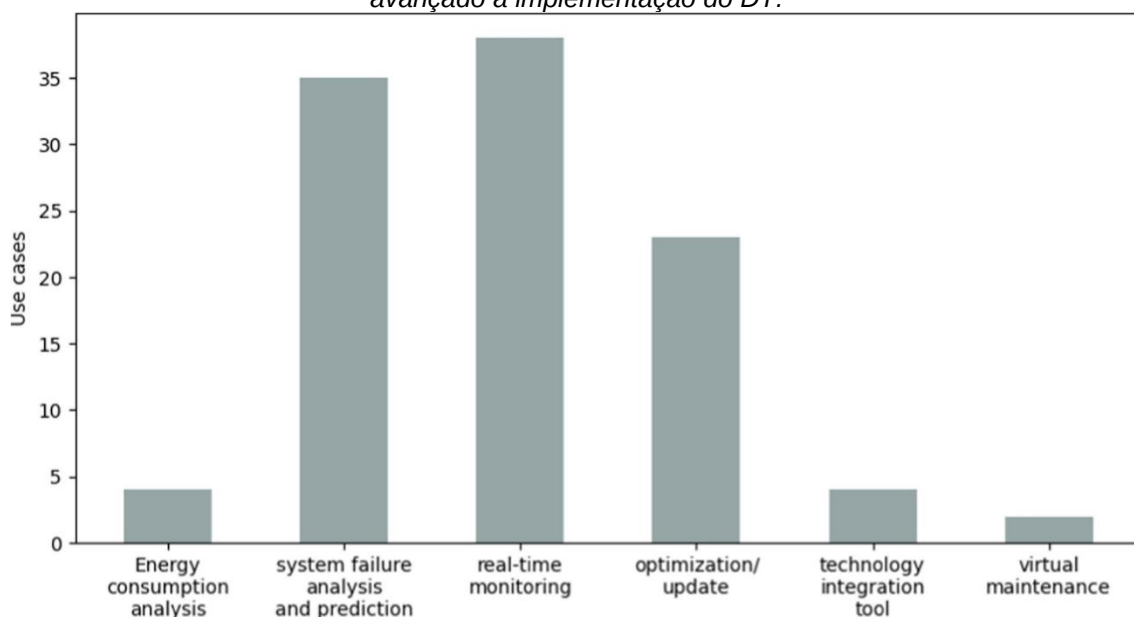


Figura 11 - Utilização de DTs em outras áreas da indústria (Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021)

Relativamente ao gráfico, foi possível notar que a maior parte dos DTs em outras áreas realizam monitorização a tempo real e análise de falhas no sistema, algo que não foi possível verificar na indústria agrícola.

A conclusão retirada pelos investigadores foi que o uso de DTs no contexto agrícola ainda é consideravelmente rudimentar e está atrasado, especialmente em comparação a outras áreas, apesar deste mesmo estudo mostrar as vantagens que esta tecnologia ascendente pode trazer. A maior parte dos casos estudados ainda estão em estágios iniciais que foi trabalhado anteriormente. O primeiro caso reportado de recurso a DTs na agricultura dá-se em 2017, enquanto em outras áreas começou por volta de 2011, seis anos antes. Concluiu-se ainda que a União Europeia é líder mundial quando se trata da aplicação de DTs na agricultura. Os investigadores aferiram que o melhor método para a implementação de DTs na agricultura consiste numa implementação gradual e simples, que demonstre o quão os DTs podem desenvolver essa indústria a investidores e grandes indústrias, o que resultaria, consequentemente, num maior investimento em DTs pela parte deles.

3.1. AI4WATER

O projeto AI4WATER, ainda em andamento, tem como objetivo diminuir o consumo de água na agricultura na região de Lleida, na Catalunha. Para além disso, a qualidade da água é monitorizada, com o objetivo de controlar e manter a segurança dos produtos. Para alcançar esta meta, um digital twin, ainda em desenvolvimento, irá ser usado.

O digital twin adapta-se constantemente ao ambiente. Foram usados como fontes de informação a água captada, principalmente do canal Urgell, e a quantidade de água gasta de várias origens, quer humana, industrial, agrícola e pecuária, tal como informações sobre o solo com sensores no próprio local. Para além disso, dados ambientais obtidos de estações meteorológicas foram úteis, e também informações providas de satélites. No caso da humidade do solo, esta é medida com recurso a um pequeno robô móvel e adaptado ao ambiente agrícola, criado especialmente para contribuir para o projeto AI4Water. O robô foi equipado com um “Radar de penetração no solo” (do inglês “Ground-Penetrating Radar”), um GPS e um sensor que mede distâncias através de um laser (“Lidar”).



Figura 12 - Robô móvel e adaptado ao ambiente agrícola (Camps, A, C. López-Martínez, A. Gonga, G Gracia, A. Perez-Portero, A. Alonso-Gonzalez, M. Vall-Llossera. 2021)

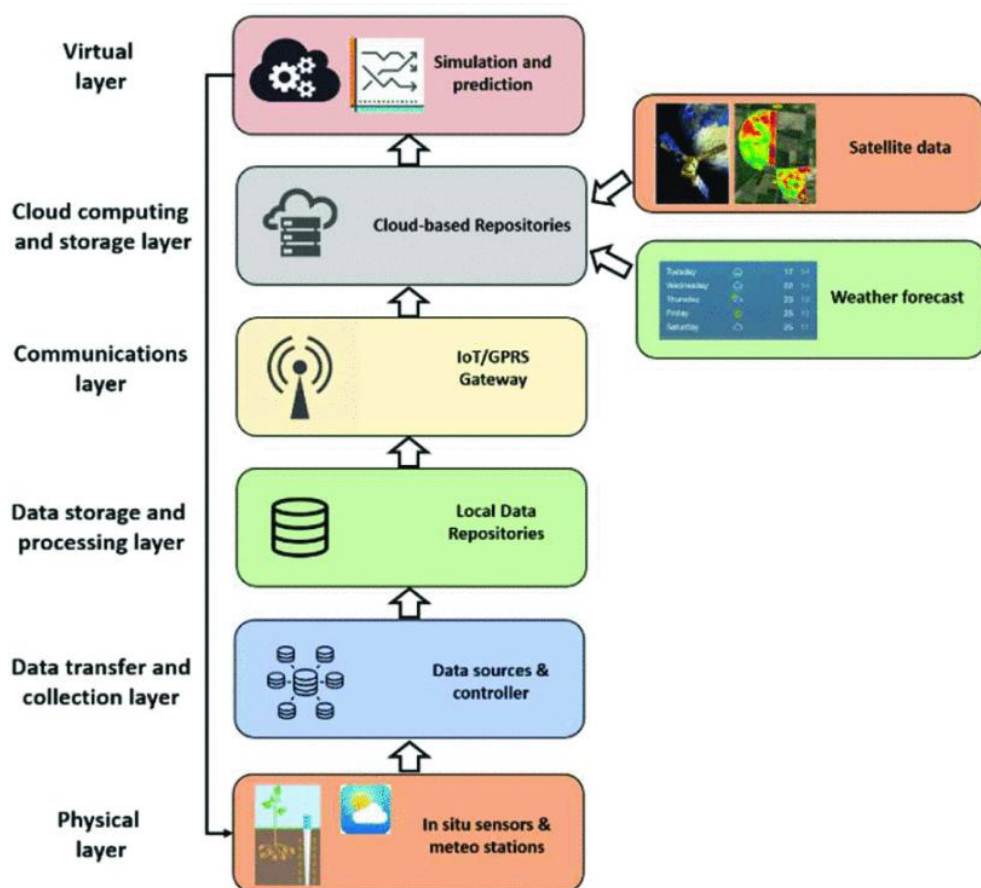


Figura 13 - Representação esquematizada do processo entre mundo físico e o digital Camps, A, C. López-Martínez, A. Gonga, G Gracia, A. Perez-Portero, A. Alonso-Gonzalez, M. Vall-Llossera. 2021)

A implementação deste projeto ainda se encontra num estado muito inicial. Por isso, os resultados ainda não foram concluídos e partilhados na totalidade. Contudo, os pesquisadores acreditam que a diminuição de consumo de água e a obtenção de conhecimento sobre DTs no contexto da agricultura para utilização em escala global são consequências inerentes à implementação do mesmo.

3.2. Digital twins na gestão da água para irrigação de plantações

O uso de diversas tecnologias, incluindo IoT (Internet das Coisas), inteligência artificial e outras está a crescer na agricultura, no entanto, a utilização de digital twins neste ramo ainda está em desenvolvimento.

O conceito de “Smart Farming” é usado para registar, monitorizar e controlar o ambiente nas plantações, as máquinas e o equipamento usado pelos agricultores. Estes dados são posteriormente utilizados para criar quintas mais eficientes, produtivas e rentáveis. A irrigação é um processo agrícola que beneficia diretamente deste conceito. Estratégias de irrigação inteligente podem ser divididas em estratégias de monitorização e de controlo, que posteriormente podem melhorar a eficiência do uso de água.

Uma das maneiras de criar um sistema de monitorização e de controlo é através do desenvolvimento de um Digital Twin, que permitirá interações em tempo real entre um objeto, como o sistema de irrigação, e a sua representação digital, como a sua representação numa plataforma IoT.

Assim, a “Smart Water Management Platform (SWAMP)” teve como objetivo desenvolver um digital twin para este fim, usando uma plataforma IoT capaz de recolher e reunir dados acerca do solo, clima e colheitas, calcular as necessidades de água e enviar prescrições de irrigação para o sistema de rega.

O funcionamento deste sistema é simulado no “Plant Simulation” software para que este sistema possa ser implementado em situações reais.

Para além disto, os agricultores podem avaliar o funcionamento do sistema em paralelo com as suas práticas habituais e verificar se a solução vai de encontro com as suas necessidades, sem colocar em risco a sua colheita.

3.2.1. Cenário de aplicação

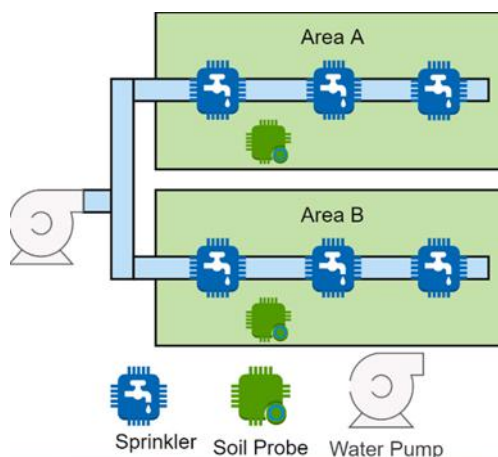


Figura 14 - Representação do sistema de irrigação (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)

Neste projeto, uma quinta é composta por duas zonas, denominadas áreas A e B, cada uma com dimensões de 8 m por 22 m e área equivalente a 176 m². Ambas as áreas possuem três aspersores e uma sonda de solo, e ambas são irrigadas pela mesma bomba d'água com taxa de fluxo máxima de 1 l/s. Considera-se um abastecimento de água infinito, o que significa que há sempre água disponível para irrigação e as intervenções são uniformes em cada área, o que significa que os aspersores de cada área são ativados ou desativados em conjunto. Porém, cada área pode ser irrigada de forma independente. Este método utiliza não só a evapotranspiração diária, obtida pelo método Penman-Monteith (método padrão para cálculo da evapotranspiração diária), como também a hidratação do solo, a idade das plantas e a previsão meteorológica para o dia seguinte.

3.2.2. Sistema

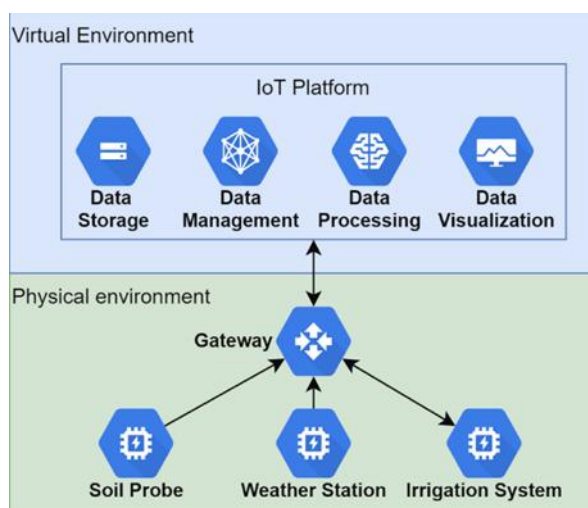


Figura 15 – Sistema do digital twin (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)

Uma visão geral do funcionamento do sistema é mostrada na figura 14. Este sistema é composto por três objetos físicos: a sonda do solo, a estação meteorológica e o sistema de irrigação. Esses objetos enviam dados para suas representações digitais na plataforma IoT por meio de um gateway. A plataforma gere, armazena e processa esses dados para calcular a quantidade de água que deve ser irrigada no dia seguinte. Esta informação é devolvida ao sistema de rega para ser executado. Todos os dados na plataforma podem ser visualizados num dashboard.

É importante destacar que, apesar de existirem três objetos físicos, este trabalho simula o comportamento de cada elemento. A sonda do solo é simulada por um “python script”, a estação meteorológica é simulada através da recolha de dados meteorológicos de serviços externos disponíveis na internet, e o sistema de irrigação é simulado usando um servidor OPC UA e o software Plant Simulation.

3.2.3. Plataforma IoT:

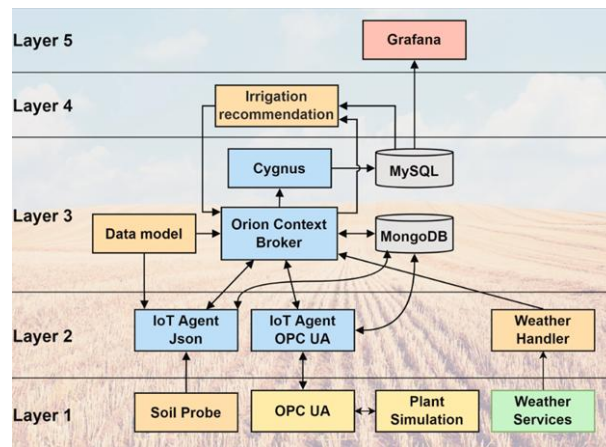


Figura 16 – Componentes da plataforma IoT (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)

Azul – componentes FIWARE

“FIWARE IoT Agent Json” - Faz a ponte entre o protocolo JSON e o protocolo NGSI utilizados dentro da plataforma FIWARE.

“FIWARE IoT Agent OPC UA” - Conecta o protocolo OPC UA ao protocolo NGSI usado dentro da plataforma FIWARE.

“FIWARE Orion Context Broker” - Este componente permite gerir toda a informação de contexto, incluindo atualizações, consultas, registos e assinaturas através da sua API.

“FIWARE Cygnus” - Cygnus é um conector responsável por recolher fontes de dados em determinados bancos de dados de terceiros, como o MySQL utilizado neste estudo, criando uma visão histórica de tais dados.

Cinzento – bases de dados

“MySQL database” - Este é um banco de dados relacional que armazena dados de séries temporais recolhidos por outros componentes.

“MongoDB database” - Este é um banco de dados não relacional que armazena dados como arquivos. É utilizado principalmente para armazenar a estrutura de entidades utilizadas nos agentes Orion Context Broker e IoT e para armazenar o último valor da propriedade de cada entidade.

Laranja – componentes desenvolvidas especificamente para este estudo

“Soil probe” – Este componente simula uma sonda física de solo de 2 camadas enviando dados para a plataforma IoT.

“Data Model” - Este componente faz a configuração do modelo de informação nos agentes IoT e Orion Context Broker e é utilizado apenas durante o processo de inicialização da plataforma.

“Weather Handler” - Este componente simula uma estação meteorológica física recolhendo informações meteorológicas da Open Weather e Weather Wunderground Application Programming Interface (API) e enviando-as para a plataforma.

“Irrigation Recommendation” – Este componente agrega dados da plataforma e calcula uma prescrição de irrigação, em milímetros, para o dia seguinte.

Vermelho – componente usada para criar um “dashboard”

“Grafana” - Aplicação web que permite a análise e visualização de dados por meio de tabelas, gráficos e alertas. É usado para exibir os dados reunidos pelos outros componentes.

Amarelo – OPC UA e software “Plant Simulation” usados para simular o funcionamento do sistema de irrigação

“OPC UA server” - Este componente é utilizado para simular um sistema físico de irrigação que possui dispositivos de monitorização e controlo que utilizam o protocolo OPC UA.

“Plant Simulation” - Este é um software de simulação de eventos discretos utilizado para simular o processo de irrigação do sistema de irrigação descrito anteriormente.

Verde – Serviço meteorológico externo

“Weather Services” - Estes são serviços meteorológicos externos do Weather Wunderground e do Open Weather Map.

3.2.4. Modelo de informação

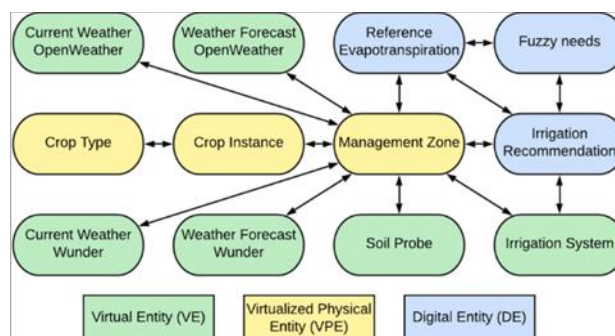


Figura 17 – Modelo de informação da plantação (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)

O modelo de informação faz uma representação da plantação.

A “Virtual Entity (VE)” é uma entidade que representa um elemento real que estabelece comunicação diretamente com a plataforma IoT. A “Virtualized Physical Entity (VPE)” é uma entidade que representa um elemento real que estabelece comunicação indiretamente com a plataforma IoT. A “Digital Entity (DE)” é uma entidade que representa dados de serviços externos, cálculos e outra informação necessária.

Este modelo pode ser expandido com base nas necessidades de cada plantação.

3.2.5. Simulação do Sistema de irrigação

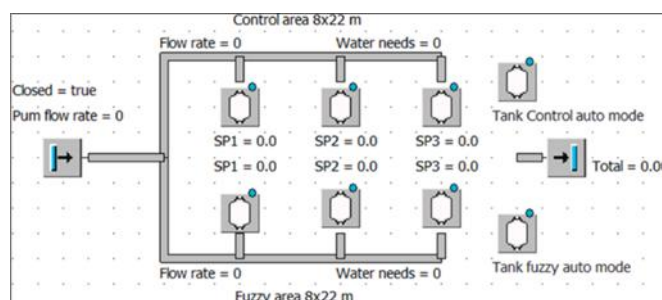


Figura 18 - Simulação do sistema de irrigação (Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023)

Os elementos “Tank” permitem a visualização do volume de água irrigada por um dado aspersor ou região e há um elemento destes para cada aspersor, para a operação manual e um para cada zona. O elemento “Pump” é usado para simular a bomba de água, com uma taxa de fluxo de 1 l/s. A divisão do fluxo de água é de 50% para cada área, independentemente do número de aspersores. O elemento “display” mostra valores de variáveis importantes.

4. Conclusões

A conclusão do nosso trabalho destaca a relevância da utilização de tecnologias inovadoras, como os Digital Twins, para enfrentar os desafios relacionados à gestão e uso sustentável da água, alinhando-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Especificamente, o ODS 6, que trata de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, foi central no desenvolvimento deste estudo. As soluções apresentadas, como a aplicação de Digital Twins na gestão de recursos hídricos e na agricultura, demonstram como essas ferramentas podem otimizar o uso da água, prever cenários de escassez e reduzir desperdícios, contribuindo significativamente para um uso mais eficiente desse recurso vital.

Além disso, o trabalho também dialoga com o ODS 12, relacionado a padrões de produção e consumo sustentáveis, ao destacar como a integração de tecnologias digitais pode promover uma gestão mais responsável dos recursos naturais, minimizando impactos ambientais.

Por fim, ao discutir as aplicações práticas e os benefícios das soluções apresentadas, reforçamos a importância da inovação tecnológica como meio para alcançar não apenas os objetivos supracitados, mas também para contribuir de forma ampla para a construção de sociedades mais resilientes, sustentáveis e inclusivas. Este trabalho pretende, assim, inspirar o desenvolvimento de estratégias que integrem tecnologia e sustentabilidade em benefício de todos.

Referências bibliográficas

Marta F. M. 2021. Digital Twin in Water Distribution Networks. <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=c1a201df4a1b580c3f7813223d9022729ec74b332edcf8a64cfb2e48b15a37bcJmltdHM9MTczMjA2MDgwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=267ba0fe-426a-6bcb-1530-b5fb430d6ae9&psq=extended+abstrat master thesis+Marta+ferra&u=a1aHR0cHM6Ly9mZW5peC50ZWNUaWNvLnVsaXNib2EucHQvZG93bmVYWRGaWxlZExMjYyOTUwNDM4MzkyNjlvRXh0ZW5kZWQIMjBBYnN0cmFjdF9NYXN0ZXIIMjBUaGVzaXNfTWYydGEIMjBGZXJyYV9NRUdFX0ZWLnBkZg&ntb=1>

Bentley. 2019. "Oporto Water Utility Develops Technology Platform for Integrated Management of Urban Water Cycle". <https://www.bentley.com/wp-content/uploads/CS-H2Porto-LTR-EN-LR.pdf>

Bentley OpenFlows for Water Infrastructure. 2019. "Integrating SewerGEMS and Bentley OpenFLOOD – Short Demo". <https://youtu.be/d4P7reY0cGk?si=sKfQ9Isb822ldq0t>

Construction Supply Magazine. 2022. "H2PORTO Technological Platform for the Integrated Management of Porto's Urban Water Cycle". <https://www.constructionupplymagazine.com/blogs/news/h2porto-technological-platform-for-the-integrated-management-of-porto-s-urban-water-cycle>

Aquatech. 2023. "TECH DIVE: Digital twins in water, what progress are we seeing?". <https://www.aquatechtrade.com/news/utilities/digital-twins-in-water>

Aquatech. 2020. "Ending the guessing game: Digital twins and flooding". <https://www.aquatechtrade.com/news/urban-water/digital-twins-in-flood-management>

Joaquim P. Martins. 2019. "Projecto Porto gravítico e redução das perdas de água". *Fora de portas: Engenharia Civil à mostra*. https://uploads-ssl.webflow.com/5ec1ea42207ff649ad51ecda/60539b173d236e7043ca6894_Porto.pdf

ESITHOUGHTLAB – RiskierWorld. 2021. "Porto's smart water management". *How a digital twin transformed the city's water system*. https://uploads-ssl.webflow.com/5ec1ea42207ff649ad51ecda/60539b173d236e7043ca6894_Porto.pdf

Águas e Energia do Porto. 2018. 2017 Relatório de Contas. <https://aguasdoporto.pt/files/uploads/cms/1601476024-uchMuRmB12.pdf>

Águas e Energia do Porto. 2024. 2023 Relatório de Contas. https://aguasdoporto.pt/files/uploads/cms/04_RC2023_AEdP_vf_website.pdf

EPAL - Empresa Portuguesa Das Águas Livres, SA.
<https://www.epal.pt/EPAL/menu/água/divulgação-de-dados-da-qualidade-da-água/controlo-operacional/distribuição>

EPANET | US EPA. 2014. <https://www.epa.gov/water-research/epanet>

Camps, A, C. López-Martínez, A. Gonga, G Gracia, A. Perez-Portero, A. Alonso-Gonzalez, M. Vall-Llossera. 2021. "AI4WATER: A Digital Twin for Irrigated Agriculture,". [AI4WATER: A Digital Twin for Irrigated Agriculture | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)

Pylianidis, Christos, Sjoukje Osinga, and Ioannis N. Athanasiadis. 2021. "Introducing Digital Twins to Agriculture." [Introducing digital twins to agriculture - ScienceDirect](#)

Rafael G. Alves, Rodrigo F. Maia, Fábio Lima. 2023. "Development of a Digital Twin for smart farming: Irrigation management system for water saving". https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623000781casa_token=pG7NMQalfGkAAAAA:staS_fa4V4TZRn3tgagdARgNz19dgBfQVgAfwkce4CI5608dFV7jrFE0zKbkX34XIkFUV3q6Y