

Transformação Digital no Setor da Água: Estado Atual, Perspetivas, Desafios e Oportunidades

Frederico BARROS LOPES ¹; Paulo ARAÚJO SAMPAIO ²; Paula VARANDAS FERREIRA ³;

[1frederico.lopes@adp.pt](mailto:frederico.lopes@adp.pt),

[2paulosampaio@dps.uminho.pt](mailto:paulosampaio@dps.uminho.pt)

[3paulaf@dps.uminho.pt](mailto:paulaf@dps.uminho.pt)

Palavras-chave: Transformação Digital, Digitalização, Inovação, Engenharia Industrial, Água

RESUMO

Este artigo é o resultado da conjugação entre o trabalho académico que tem sido desenvolvido no âmbito do Programa Doutoral em Engenharia Industrial e Sistemas (PDEIS) da Universidade do Minho, orientado pelo Professor Paulo Araújo Sampaio e pela Professora Paula Varandas Ferreira, e a minha experiência no contexto empresarial da Águas do Norte. Este artigo reflete a combinação entre a investigação teórica e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos durante o meu percurso académico, destacando a relevância desta interligação na abordagem de questões específicas no ambiente empresarial.

O setor da água encontra-se numa rápida Transformação Digital, impulsionada pelo aparecimento de novas tecnologias como a Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e *Big Data*. Estas tecnologias estão a oferecer às empresas da indústria da água oportunidades sem precedentes para otimizar as operações e aprimorar a prestação de serviços [1]. O objetivo deste documento é proporcionar uma visão abrangente da Transformação Digital no setor da água, focando o estado atual, perspetivas potenciais, desafios e oportunidades. Não restam dúvidas de que a era digital já chegou, e um cenário digital em constante evolução está a alterar as organizações de serviços públicos de infraestruturas essenciais em direção à Transformação Digital [2]. Esta transformação é inevitável, uma vez que os serviços enfrentam agora novos riscos decorrentes do aumento da procura, da escassez de água, da qualidade da água e da segurança hídrica [3]. A adoção de tecnologias digitais tornar-se-á crucial para fornecer serviços aprimorados, mais fiáveis, seguros, eficientes e rentáveis [4]. As empresas de água que adotem a Transformação Digital podem alcançar benefícios significativos e posicionar-se para o sucesso num mundo cada vez mais digital. Contudo, para alcançar esse sucesso, as empresas do setor devem adotar uma abordagem estratégica de implementação que considere os desafios únicos do setor. A digitalização e os seus impactos no desempenho estão intrinsecamente ligados à maturidade digital [5]. A identificação dos desafios que as empresas de água enfrentam na implementação de estratégias de Transformação Digital constituem o ponto de partida. Adicionalmente a esta discussão, serão também abordados os fatores essenciais que contribuem para o sucesso das empresas de água interessadas em adotar estratégias de Transformação Digital.

Torna-se essencial iniciar a jornada digital, motivar os colaboradores, aprimorar a cultura digital e fomentar a aceitação de novos processos em todos os níveis [6]. Ao adotar uma abordagem estratégica para a Transformação Digital e aproveitar as tecnologias emergentes, as empresas podem ultrapassar desafios e colher benefícios substanciais [7]. As empresas do setor da água não são exceção, como se tenta demonstrar pelo caso de estudo a ser apresentado, que oferece um exemplo concreto dos benefícios da Transformação Digital, realçando a importância das empresas adotarem tecnologias emergentes para atender às necessidades em constante evolução, de todas as partes interessadas, e alcançar o sucesso num mundo cada vez mais digital.

Por fim, será apresentado um caso de estudo que destaca um sistema operacional inteligente implementado pela empresa Águas do Norte. Este sistema realça as vantagens da utilização de análises avançadas e aprendizagem automática para melhorar a monitorização e resposta em tempo real a eventos cruciais, como problemas de qualidade da água, perdas e avarias nos equipamentos. Pretende-se com o caso de estudo, revelar alguns dos benefícios tangíveis e intangíveis derivados da Transformação Digital.

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais, as empresas têm vindo a adotar tecnologias digitais a um ritmo acelerado, com potencial para aumentar a produtividade, eficiência e sustentabilidade, contribuindo para melhorar o bem-estar geral [8]. Os desafios que temos pela frente nas próximas décadas são muitos e terão um impacto significativo na sustentabilidade não só nas empresas, mas também na sociedade e no mundo, e a indústria da água não é exceção. A agenda do setor da água é hoje significativamente mais complexa e exigente, com ligações claras a questões-chave globais, incluindo o fenómeno digital [9]. A Transformação Digital das empresas do setor público e privado pode permitir uma melhor gestão da água, reforçando o acesso universal à água potável e contribuindo para o crescimento económico sustentável, considerando e integrando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) [10].

2. TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO SETOR DA ÁGUA: SITUAÇÃO ATUAL, PERSPECTIVAS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES

A presente conjuntura, as transformações e os desafios no setor da água refletem um panorama dinâmico influenciado por diversos fatores, tais como o crescimento demográfico, as alterações climáticas, os progressos tecnológicos e a evolução dos requisitos regulamentares. Na Figura 1, é oferecida uma perspetiva do estado atual da indústria da água, bem como das mudanças em curso e dos principais desafios que esta enfrenta:

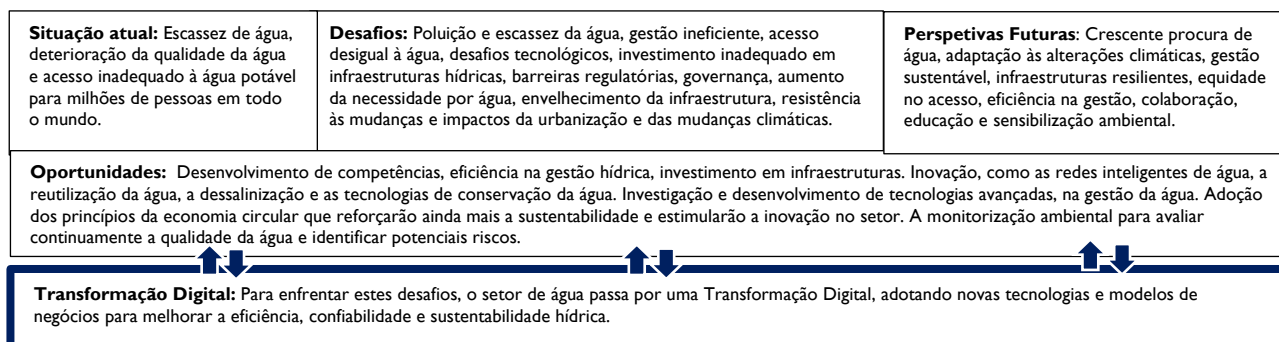


Figura. 1. Setor da Água: Situação Atual, Perspetivas, Impactos, Desafios e Oportunidades

Para as entidades responsáveis por serviços essenciais, tais como o abastecimento público de água e o tratamento de águas residuais, as oportunidades e os potenciais benefícios provenientes da Transformação Digital são consideráveis para fazer face aos desafios do futuro. A integração de novas tecnologias e modelos de negócio, nas organizações, tem um efeito de promover a otimização da eficiência operacional, a resiliência dos sistemas e a preservação da sustentabilidade dos recursos hídricos. O valor alcançado engloba uma maior flexibilidade, conveniência e transparência, bem como uma eficiência aprimorada na gestão das operações a curto e longo prazo, em conjunto com uma compreensão mais abrangente das infraestruturas e do seu desempenho [11].

3. TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO SETOR DA ÁGUA

Nos últimos anos, a Transformação Digital tem-se destacado como um fenômeno significativo na investigação estratégica, contribuindo para a compreensão das mudanças que ocorrem na sociedade e nas indústrias [12]. No entanto, é importante considerar que, dada a natureza multidisciplinar da Transformação Digital e as interdependências nos modelos de negócio, é necessário que os investigadores e diferentes áreas de negócio colaborem para desenvolver uma compreensão mais abrangente de como e quando a Transformação Digital opera [13].

O investigador Gregory Vial apresenta, de forma genérica, o processo de Transformação Digital numa estrutura de oito blocos [12]. Com base nesta representação, na Figura 2 é exposta uma adaptação concisa e indutiva do conhecimento atual sobre a Transformação Digital na indústria da água, com base no seu modelo correspondente. As setas pontilhadas representam tendências globais, enquanto as setas sólidas representam as etapas do processo de Transformação Digital e os níveis organizacionais. A estrutura baseia-se numa relação de oito blocos, onde as tecnologias digitais desempenham um papel relevante nas estratégias das organizações e nas disrupções que ocorrem na sociedade. As mudanças geram impactos positivos para as organizações e, em alguns casos, para os indivíduos e para a sociedade, embora também possam estar associadas a resultados indesejáveis. Por outro lado, as estratégias de Transformação Digital têm um carácter transversal e precisam de estar alinhadas com outras estratégias funcionais e operacionais, por vezes difíceis e controversas [14]. Neste contexto é ainda importante compreender o nível de maturidade digital, tomar consciência do potencial da indústria da água em termos digitais, e como o digital poderá contribuir para a sustentabilidade hídrica e, em última análise, para um mundo melhor [15].

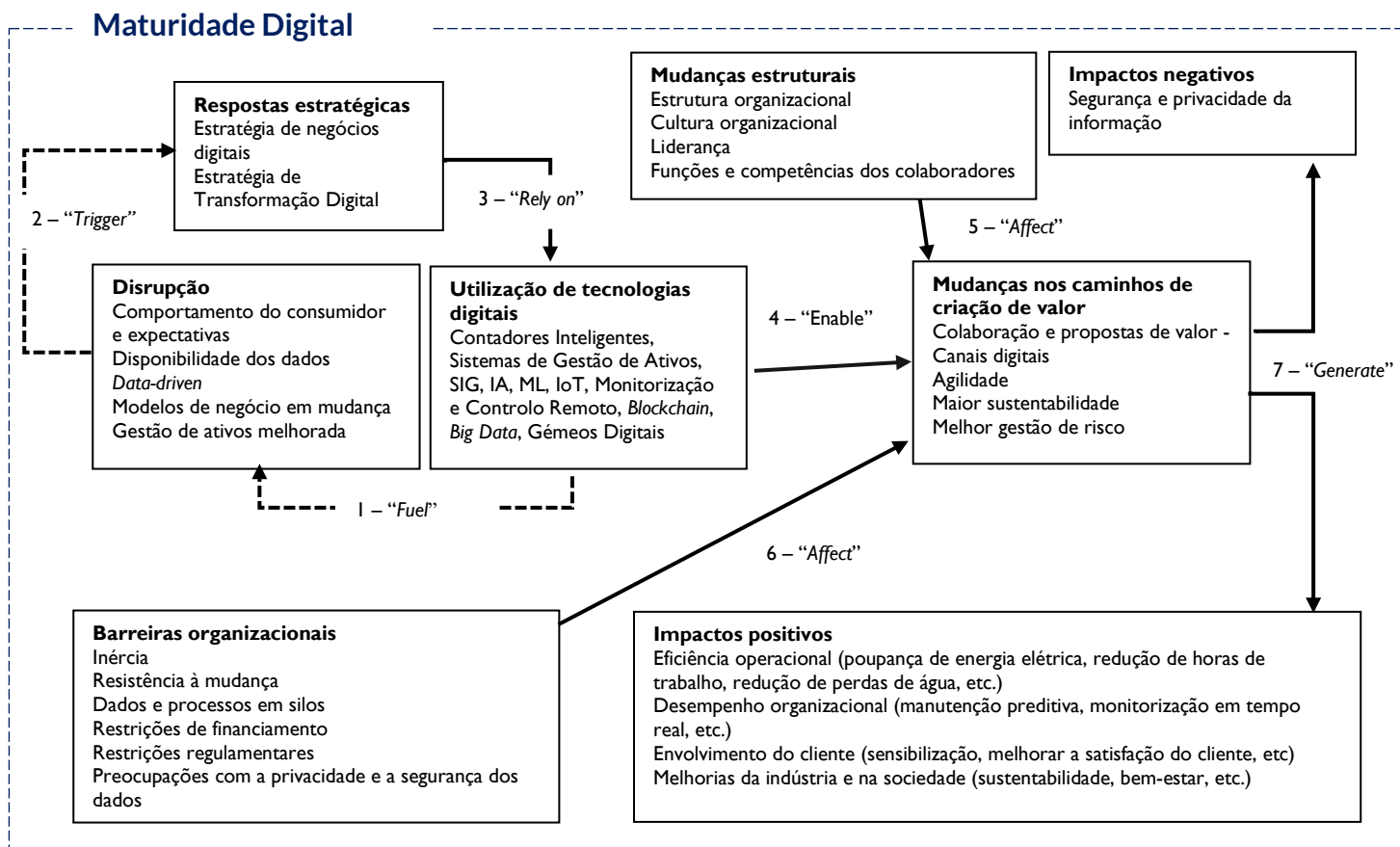


Figura 2. Blocos do processo de Transformação Digital no setor da Água.

4.1 UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS

A integração de tecnologias digitais na indústria da água desempenha um papel essencial na modernização e melhoria dos processos operacionais, promovendo uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos. Neste contexto, serão exploradas algumas das principais tecnologias digitais a empregar neste setor.

4.1.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O SIG desempenha um papel crucial na gestão integrada dos recursos hídricos. Permite a análise espacial de dados, a visualização de infraestruturas e a modelação de redes de distribuição de água, facilitando o planeamento e a tomada de decisões relacionadas com o abastecimento, tratamento e distribuição de água [16].

4.1.2 Inteligência artificial (IA)

A utilização da IA na indústria da água tem vindo a ganhar cada vez mais destaque na otimização de processos, deteção de anomalias e previsão de eventos futuros. Os algoritmos de IA são cada vez mais utilizados em diversos contextos, desde a gestão dos recursos hídricos até à previsão de necessidades, otimização dos sistemas de tratamento de água e deteção de fugas nas redes de distribuição. Estas aplicações contribuem de forma significativa para uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos [17].

4.1.3 Internet das Coisas (IoT)

A IoT desempenha um papel fundamental na monitorização e controlo remoto de infraestruturas e equipamentos na indústria da água. A densidade digital no setor tem aumentado com a utilização crescente de sensores IoT, que são cada vez mais usados para recolher dados em tempo real sobre a qualidade da água, níveis de reservatórios, consumo e pressão nas redes de distribuição, entre outros aspetos. Esta abordagem permite uma gestão mais eficiente e uma resposta rápida a eventuais falhas ou problemas [18].

4.1.4 Blockchain

A tecnologia *Blockchain* possui um potencial transformador significativo na gestão de dados na indústria da água, garantindo transparência, segurança e integridade das informações. Esta inovação pode ser aplicada em diversas áreas, incluindo gestão de contratos e monitorização de transações financeiras, proporcionando um reforço na confiança e eficiência dos processos de gestão hídrica. [19]. Ao garantir um registo imutável e descentralizado de dados, o *Blockchain* oferece uma solução robusta para os desafios de segurança e confiança enfrentados pelo setor da água, promovendo uma maior transparência e fiabilidade nas operações. Além disso, ao eliminar intermediários e reduzir a possibilidade de falsificação de dados, esta tecnologia pode simplificar e agilizar os processos de transação e gestão de contratos, resultando em benefícios tangíveis em termos de eficiência e custos para as empresas e organizações envolvidas na gestão dos recursos hídricos.

4.1.5 Big Data

A análise de *Big Data* está a ser cada vez mais aplicada na indústria da água para obter informações valiosas a partir de grandes volumes de dados. Ao integrar dados de várias fontes, como sensores IoT, sistemas industriais de supervisão, controlo e aquisição de dados, torna-se possível realizar uma análise mais completa e precisa do estado operacional das infraestruturas, promovendo uma gestão mais eficiente e bem informada [20].

4.1.6 Digital Twin

Os *Digital Twins*, ou gêmeos digitais, são réplicas virtuais de infraestruturas físicas que permitem simular e monitorizar o seu comportamento em tempo real. Na indústria da água, os *Digital Twins* são cada vez mais utilizados para modelar e otimizar o funcionamento de sistemas de distribuição de água, prever o desempenho de infraestruturas e antecipar potenciais problemas, contribuindo para uma gestão mais eficiente e resiliente [21].

4.2 DISRUPÇÃO

A introdução de novas tecnologias pode desencadear uma disrupção significativa no setor da água, impactando vários aspectos do seu funcionamento. Esta transformação abrange uma série de áreas, tais como:

- a) **Comportamento do consumidor e expectativas:** os consumidores tornam-se mais conscientes e exigentes em relação ao uso da água, impulsionando a necessidade de soluções mais eficientes e sustentáveis [22].
- b) **Disponibilidade dos dados:** a disseminação de dispositivos inteligentes e sistemas de monitorização gera uma quantidade de dados sobre o consumo, qualidade e gestão da água muito superior à registada no passado. [23].
- c) **Data-driven:** a análise avançada de dados permite uma compreensão mais profunda dos padrões de consumo e da eficiência operacional, facilitando a tomada de decisões baseada em evidências [24].
- d) **Modelos de negócio em mudança:** a digitalização abre caminhos para novos modelos de negócio, como serviços de gestão inteligente de água ou novas soluções de pagamento [25].
- e) **Gestão de ativos melhorada:** a implementação de tecnologias como IoT e IA melhora significativamente a gestão de ativos, permitindo uma manutenção proativa e preditiva, reduzindo custos e aumentando a fiabilidade das infraestruturas [26].

Em resumo, a introdução de tecnologias tem o poder de transformar o setor da água, impulsionando a inovação e oferecendo oportunidades para uma gestão mais eficiente, sustentável e centrada no consumidor.

4.3 RESPOSTAS ESTRATÉGICAS

A disrupção causada pela Transformação Digital no setor da água exige respostas estratégicas adequadas para enfrentar os desafios e tirar partido das oportunidades emergentes. Duas das principais respostas estratégicas são a de Negócios Digitais e a de Transformação Digital.

4.4. ESTRATÉGIA DE NEGÓCIOS DIGITAIS

A estratégia de Negócios Digitais no setor da água visa aproveitar as oportunidades proporcionadas pela digitalização para impulsionar a inovação, melhorar a eficiência operacional e aprimorar a experiência do cliente. Esta estratégia engloba diversas iniciativas-chave, tais como:

- a) **Digitalização de processos operacionais:** a implementação de tecnologias digitais para automatizar e otimizar processos, como a monitorização remota de infraestruturas, gestão inteligente de ativos e manutenção preditiva [27].
- b) **Desenvolvimento de canais de distribuição digital:** a criação de plataformas online e aplicativos móveis para facilitar o acesso dos clientes aos serviços de água, incluindo faturação eletrónica, pagamento online e relatórios de consumo em tempo real [28].
- c) **Gestão do relacionamento com o cliente digital (CRM):** a utilização de sistemas CRM digitais para personalizar o atendimento ao cliente, antecipar as suas necessidades e melhorar o seu nível de satisfação [29].

Estas iniciativas visam potenciar a adaptação ao contexto digital e proporcionar uma maior eficácia e competitividade no setor da água.

4.5. ESTRATÉGIA DE TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

A estratégia de Transformação Digital representa uma abordagem mais abrangente, que visa não apenas à engenharia, mas à reengenharia dos processos de negócio, à re-imaginação dos modelos de negócio e à promoção de uma cultura organizacional orientada para a inovação. Este enfoque envolve a reconfiguração de diversos elementos-chave, nomeadamente:

- a) **Engenharia e redesenho de processos de negócios:** integração não só de princípios de engenharia para conceber e implementar soluções digitais eficazes e seguras, mas também a identificação, otimização e reengenharia de processos existentes para os alinhar com os objetivos da Transformação Digital [30].
- b) **Inovação de modelos de negócios:** a exploração de novas oportunidades de negócios baseadas em tecnologia [28].
- c) **Criação de uma cultura de inovação:** o estímulo à criatividade e experimentação dentro da organização [29].
- d) **Desenvolvimento de competências digitais:** o investimento na formação e capacitação dos colaboradores [31].
- e) **Implementação de tecnologias emergentes:** a adoção de tecnologias disruptivas para impulsionar a eficiência e a produtividade [32].

- f) **Gestão da mudança organizacional:** a promoção de uma abordagem proativa para gerir a mudança, envolvendo e comunicando-se eficazmente com os *stakeholders* para garantir uma transição suave para a nova realidade digital [33].

Em resumo, a implementação de estratégias de Negócios Digitais e de Transformação Digital é fundamental para as empresas do setor da água enfrentarem os desafios da disrupção digital e maximizarem as oportunidades emergentes, garantindo a sua sustentabilidade e competitividade a longo prazo.

4.6 BARREIRAS ORGANIZACIONAIS

Superar as barreiras organizacionais para a implementação bem-sucedida da Transformação Digital no setor da água é essencial para o progresso efetivo. Além disso, identificar e resolver essas barreiras são passos cruciais para garantir que as organizações estejam preparadas para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades que a digitalização oferece. Algumas das principais barreiras incluem:

- a) **Inércia organizacional:** a resistência à mudança devido à estagnação dos processos existentes e à falta de vontade para adotar novas práticas [34].
- b) **Resistência à mudança:** as reações negativas dos colaboradores devido ao medo do desconhecido e da perda de familiaridade com os processos existentes [35].
- c) **Dados e processos em silos:** o isolamento e a fragmentação dos dados e processos dentro da organização, dificultando a integração e a análise holística [36].
- d) **Restrições de financiamento:** as limitações orçamentais que podem impedir a alocação de recursos necessários para investimentos em tecnologia e infraestrutura digital [37].
- e) **Restrições regulamentares:** as normas e regulamentos governamentais que podem impor limitações à adoção de novas tecnologias e práticas no setor da água [38].
- f) **Preocupações com a privacidade e segurança dos dados:** os receios sobre a proteção dos dados dos clientes e a segurança das informações sensíveis armazenadas nos sistemas digitais [39].

Superar estas barreiras exige abordagens multifacetadas, incluindo liderança eficaz, comunicação transparente, investimento em capacitação e colaboração entre as partes interessadas internas e externas.

4.7 MUDANÇAS ESTRUTURAIS

As mudanças estruturais no contexto da Transformação Digital no setor da água são essenciais para a adaptação efetiva e a maximização dos benefícios das tecnologias emergentes. Alguns dos principais aspetos a considerar são:

- a) **Estrutura organizacional:** a redefinição da estrutura organizacional para promover a agilidade e a colaboração é fundamental. Esta abordagem pode incluir a criação de equipas multifuncionais e a implementação de estruturas mais horizontais, que facilitem a comunicação e a tomada de decisões ágeis [40].
- b) **Cultura organizacional:** a cultura organizacional deve ser orientada para a inovação, a aprendizagem contínua e a experimentação. É importante promover uma mentalidade aberta à mudança e ao risco, incentivando a colaboração e a criatividade [43].
- c) **Liderança:** os líderes visionários e capacitados são essenciais para conduzir a Transformação Digital. Eles devem inspirar e motivar a equipa, definir uma visão clara e fornecer orientação estratégica ao longo do processo de mudança [44].
- d) **Atualização das funções e competências dos colaboradores:** é crucial atualizar as funções e competências dos colaboradores para corresponder às exigências do ambiente digital. Este processo implica a formação em novas tecnologias, o desenvolvimento de habilidades analíticas e de pensamento crítico, bem como a promoção da adaptabilidade e da capacidade de resolução de problemas [45].

A implementação bem-sucedida de mudanças estruturais requer um compromisso firme da liderança, uma comunicação eficaz e um plano de transição cuidadosamente elaborado para minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios da Transformação Digital.

4.8 CRIAÇÃO DE VALOR

A Transformação Digital no setor da água está a impulsionar mudanças significativas nos processos de criação de valor, abrindo novas oportunidades e desafios. Alguns dos principais elementos deste novo paradigma são:

- a) **Evolução nos caminhos de criação de valor:** a Transformação Digital está a alterar fundamentalmente a forma como o valor é criado no setor da água. Desde a otimização dos processos operacionais até à melhoria da experiência do cliente, as empresas estão a adotar abordagens mais ágeis e orientadas para o cliente [40].
- b) **Colaboração e propostas de valor:** a digitalização está a permitir uma maior colaboração entre os diferentes intervenientes do setor da água, desde as entidades reguladoras até aos fornecedores de tecnologia. Esta cooperação resulta no desenvolvimento de propostas de valor mais abrangentes e integradas, que visam satisfazer as necessidades dos clientes de forma mais eficaz [41].
- a) **Canais digitais:** a proliferação de canais digitais, como plataformas online e aplicações móveis, está a revolucionar a forma como os serviços de água são disponibilizados aos clientes. Este movimento está a permitir uma maior conveniência e acessibilidade, enquanto melhora a interação e o envolvimento dos clientes [42].
- b) **Agilidade:** a Transformação Digital está a tornar as empresas do setor da água mais ágeis e adaptáveis, permitindo uma resposta mais rápida às mudanças nas condições de mercado e às necessidades dos clientes, garantindo uma vantagem competitiva sustentável [43].

- c) **Maior sustentabilidade:** a digitalização está a contribuir para uma maior sustentabilidade no setor da água, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e uma redução do impacto ambiental das operações [42].
- d) **Melhor gestão de risco:** a análise avançada de dados e as tecnologias de monitorização estão a melhorar significativamente a capacidade das empresas do setor da água para identificar e gerir os riscos operacionais, financeiros e regulatórios [43].

Estas mudanças estão a redefinir o panorama do setor da água, com as empresas que adotam uma abordagem proativa à Transformação Digital a posicionarem-se para obterem vantagens significativas.

4.9 IMPACTOS NEGATIVOS

Apesar dos benefícios parecerem evidentes, a Transformação Digital no setor da água, pode também trazer alguns impactos negativos, tais como:

- a) **Desigualdades de acesso:** a digitalização intensiva pode criar disparidades no acesso aos serviços de água, deixando algumas comunidades ou regiões com acesso limitado a tecnologias avançadas, o que pode aumentar as divisões sociais e económicas [44].
- b) **Dependência tecnológica:** a adoção generalizada de tecnologias digitais pode criar uma dependência excessiva dessas tecnologias, tornando o setor vulnerável a falhas técnicas, interrupções no fornecimento de água e possíveis ataques cibernéticos [45].
- c) **Desemprego ou mudança de emprego:** a automação e a digitalização de processos podem levar à substituição de trabalhadores por sistemas automatizados, resultando em desemprego ou exigindo que os trabalhadores adquiram novas competências para se adaptarem às novas exigências do mercado de trabalho [46].
- d) **Riscos de privacidade e segurança de dados:** a digitalização envolve a recolha e processamento de grandes quantidades de dados, o que aumenta os riscos de violações de privacidade e segurança de dados se não forem implementadas medidas adequadas de proteção de dados [47].
- e) **Impactos ambientais:** a implementação de tecnologias digitais pode ter impactos ambientais negativos, como aumento do consumo de energia, produção de resíduos eletrónicos e emissões de carbono associadas à produção e operação de equipamentos digitais [48].

4.10 IMPACTOS POSITIVOS

O impacto positivo da Transformação Digital no setor da água é significativo e abrangente, abarcando várias áreas cruciais para a sua gestão eficiente e sustentável. Algumas dos principais impactos positivos incluem:

- a) **Eficiência operacional:** a Transformação Digital possibilita a otimização de processos, resultando em poupança de energia elétrica, redução de horas de trabalho e diminuição de perdas de água, entre outros benefícios [49].
- b) **Desempenho organizacional:** a implementação de soluções digitais permite a adoção de práticas como manutenção preditiva e monitorização em tempo real, contribuindo para melhorias significativas no desempenho organizacional [50].
- c) **Envolvimento do cliente:** através de estratégias digitais, as organizações podem promover o envolvimento dos clientes, sensibilizando-os para questões relevantes, melhorando a sua satisfação e fidelização [51].
- d) **Melhorias na indústria e na sociedade:** a Transformação Digital contribui para a promoção da sustentabilidade, bem-estar e qualidade de vida na sociedade, ao facilitar o acesso a serviços essenciais de forma mais eficiente e ambientalmente consciente [52].

5. CASO DE ESTUDO

5.1 Centro de Alertas e Notificações

Em 2019, a Águas do Norte defrontou-se com o desafio de gerir milhares de infraestruturas, cada uma composta por diversos sistemas industriais de Supervisão, Controlo e Aquisição de Dados (SCADA), e com soluções de alarmística distintas. A complexidade e os custos associados à gestão e manutenção destas diversas soluções levaram a Águas do Norte a conceber uma plataforma inovadora, que se constitui como o Centro de Alertas e Notificações (CAN). O objetivo era uniformizar, consolidar e otimizar as informações dispersas nos vários sistemas, eliminando abordagens isoladas. A plataforma unificadora de alarmes foi desenvolvida para integrar dados provenientes de cerca de 106 sistemas SCADA, independentemente das tecnologias utilizadas.

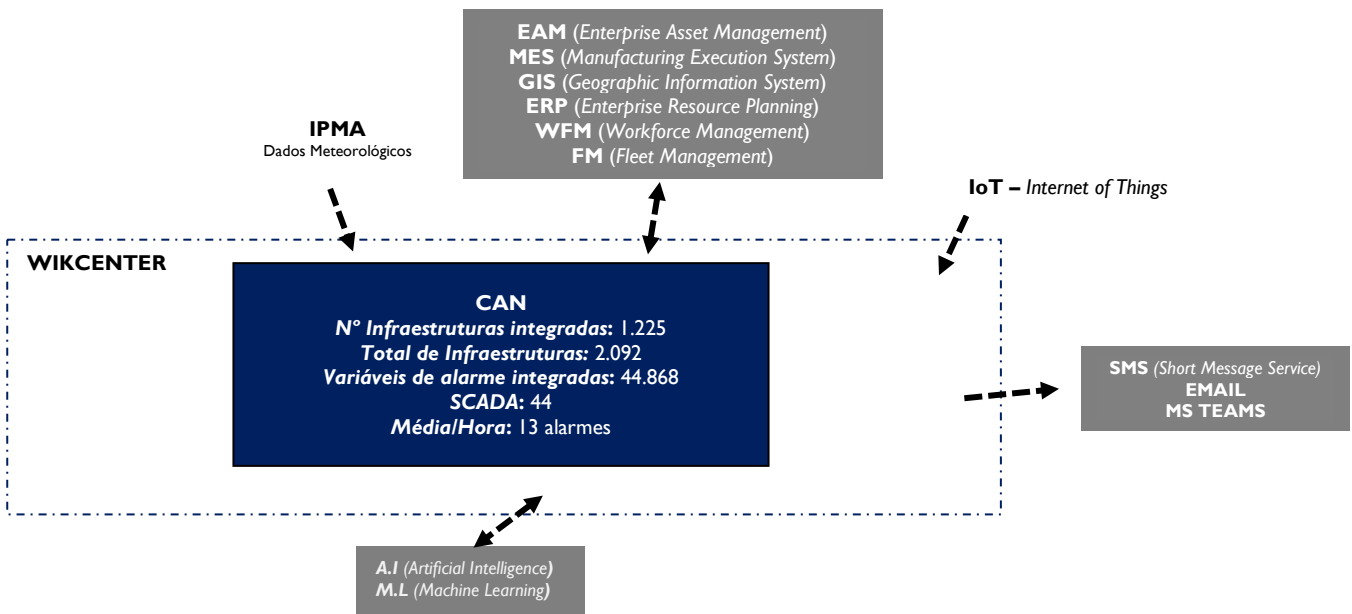


Figura 3. Arquitetura da plataforma de gestão operacional da Águas do Norte

5.2 Investimento financeiro

A análise financeira do projeto digital CAN desempenhou um papel crucial na validação de sua viabilidade econômica. O tempo necessário para recuperar o investimento inicial apontava para a autossustentabilidade do projeto, proporcionando uma clara perspectiva de retorno a curto prazo. Essa avaliação forneceu um indicador do retorno sobre o investimento, essencial para apoiar a decisão estratégica de avançar com o projeto. Além disso, outros indicadores contribuíram para uma análise abrangente do impacto financeiro ao longo do tempo, não apenas evidenciando a atratividade econômica do projeto, mas também proporcionando uma perspectiva clara sobre os benefícios financeiros sustentáveis que ele ofereceria, reforçando ainda mais a importância da sua implementação, e que se resumem na Tabela 1.

Resumo dos resultados	
Total de poupanças/receitas do projeto	605 600 €
Total das despesas do projeto	-391 994 €
Poupança/rendimento líquido do projeto	213 606 €
ROI (return of investment) - após 5 anos	54,5%
NPV (net present value)	62 799 €
at a discount rate of:	12,0%
IRR (internal rate of return)	25,1%
Payback	Ano 6

Tabela 1. Análise financeira do projeto

O projeto foi posteriormente alvo de uma candidatura ao Sistema de Apoio à Transformação Digital da Administração Pública (SAMA2020), tendo recebido um apoio financeiro da União Europeia no valor de 255.000 EUR. A injeção destes recursos provenientes desse financiamento contribuiu de forma significativa para acelerar o retorno financeiro do projeto. Esta fonte adicional de apoio financeiro não só reforçou ainda mais a sustentabilidade económica do projeto, como também facilitou a implementação de estratégias eficazes, resultando em benefícios tangíveis e numa resposta mais ágil às necessidades.



Figura 4. Projeto cofinanciado - n°POCI-05-5762-FSE-000208

5.3 Benefícios financeiros

Esta abordagem, permitiu otimizar os processos operacionais e a gestão de ativos por meio da aplicação de IA e análise de dados. Houve uma redefinição abrangente dos processos operacionais, introduzindo um conjunto avançado de ferramentas para a gestão, monitorização e análise de todos os alertas relacionados com as atividades de negócio. A notável flexibilidade de parametrização conferiu aos utilizadores a capacidade de personalizar as notificações conforme as suas necessidades particulares. Esta inovação representou uma resposta eficaz aos desafios anteriores, promovendo a eficiência e a personalização na gestão de alertas e notificações no setor de infraestruturas de água. No caso de estudo do CAN, foram observados diversos benefícios decorrentes da implementação deste sistema, e que começaram a ser verdadeiramente quantificados em fevereiro de 2023, e que vieram a demonstrar que iam para além do inicialmente perspetivado. Entre eles, destacam-se:

- a) **Melhoria na resposta a eventos críticos:** o CAN proporcionou uma resposta mais rápida e eficaz a eventos cruciais, tais como problemas de qualidade da água, perdas e avarias nos equipamentos. A capacidade de detetar e notificar automaticamente sobre esses eventos permitiu uma intervenção mais ágil, minimizando potenciais impactos negativos.
- b) **Aperfeiçoamento da monitorização em tempo real:** a utilização de análises avançadas e aprendizagem automática no sistema operacional inteligente contribuiu para uma monitorização contínua e em tempo real. O resultado foi uma maior precisão na identificação de situações críticas e predição de cenários de risco, permitindo uma gestão proativa e eficiente.
- c) **Redução de custos operacionais:** a automação proporcionada pelo CAN contribuiu para a redução de custos operacionais. A capacidade de identificar e lidar rapidamente com problemas potenciais minimizou a necessidade de intervenções manuais locais e dispendiosas, otimizando assim a eficiência operacional.
- d) **Aumento da confiabilidade do sistema:** a implementação do sistema inteligente contribuiu para uma maior confiabilidade do sistema de abastecimento de água e de saneamento. A rápida deteção de falhas e a capacidade de notificação automática permitiram uma abordagem preventiva, evitando potenciais interrupções no serviço.
- e) **Sustentabilidade e conservação de recursos:** ao detetar prontamente situações como potenciais perdas de água, o CAN contribuiu para a sustentabilidade ambiental e a conservação dos recursos hídricos, alinhando-se com práticas mais responsáveis no setor.

Em resumo, a implementação do CAN resultou numa série de benefícios, sobretudo na melhoria da eficiência operacional, demonstrando concretamente os ganhos derivados da Transformação Digital, tais como a diminuição de deslocações, trabalho suplementar, consumo de energia ou desperdício de água.

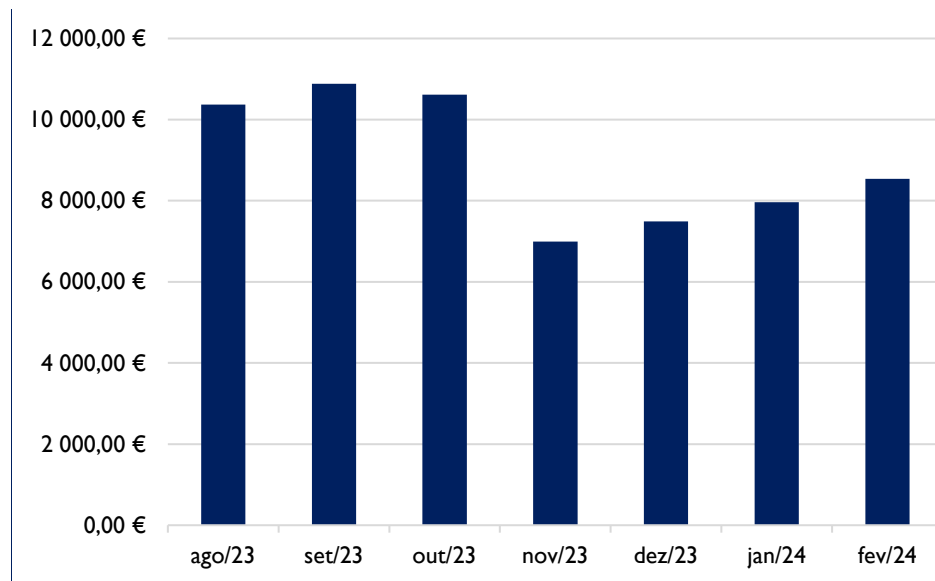


Figura 5. Benefícios financeiros operacionais estimados diariamente

O caso de estudo implicou uma análise minuciosa dos procedimentos em vigor, revelando uma margem considerável para melhorias substanciais e destacando a necessidade de implementar uma reengenharia de alguns processos. A escolha pela adoção de uma abordagem de reengenharia não apenas se revelou como uma opção viável, mas sim como uma resposta essencial para otimizar a eficiência operacional e superar os desafios já identificados. Ao alinhar novas competências digitais com os princípios de reengenharia de processos, a Águas do Norte não só alcançou eficiência operacional, mas também deu um passo significativo em direção a uma transformação sustentável e inovadora.

5.4 Benefícios não financeiros

A adoção da Transformação Digital vai além das considerações financeiras, proporcionando uma diversidade de vantagens. Para além de otimizar a eficiência operacional, este projeto destacou-se no âmbito das iniciativas de desenvolvimento e Transformação Digital na Águas do Norte, sendo reconhecido e premiado em várias ocasiões [53]. Nem sempre os benefícios estão diretamente associados a aspetos monetários, contribuindo para aprimorar a qualidade de vida, eficiência operacional e promover o desenvolvimento sustentável, como constatado neste caso de estudo específico. Esses ganhos não financeiros alinham-se com uma visão da Sociedade 5.0 [54], impulsionada pela Transformação Digital, capaz de gerar impactos positivos abrangentes em diversos domínios da vida e da sociedade. A Sociedade 5.0, conceito originado no Japão, refere-se a uma fase avançada de evolução da sociedade humana, caracterizada pela integração avançada de tecnologias da informação, comunicação, IA e IoT para aprimorar a qualidade de vida dos cidadãos. Esta terminologia tem as suas raízes na estratégia de inovação do governo japonês para enfrentar os desafios da sociedade contemporânea [55]. O caso de estudo, que aqui se apresenta, identificou inovações que impactam diretamente no bem-estar dos colaboradores, como por exemplo a redução no envio de alarmística operacional através de mensagens SMS (*Short Message Service*). Esta convergência reflete uma evolução em direção a uma abordagem mais inteligente, eficiente e centrada nas pessoas, refletindo um conjunto de benefícios tais como:

- a) **Bem-estar e segurança:** contribuindo significativamente para o bem-estar ao garantir respostas rápidas e coordenadas a eventos que possam impactar a segurança das pessoas, criando uma sensação de segurança e tranquilidade operacional.

- b) **Redução de SMS e eficiência na comunicação:** a diminuição no uso de mensagens SMS indica uma transição para formas mais eficientes de comunicação. O CAN pode utilizar canais de comunicação mais avançados, como aplicativos móveis, notificações push e sistemas integrados, reduzindo a dependência de métodos tradicionais, como o SMS.
- c) **Resposta personalizada e ágil:** o CAN equipado com tecnologias digitais pode oferecer respostas mais personalizadas, levando em consideração as necessidades individuais e preferências de cada colaborador, contribuindo para uma abordagem mais humana na gestão de emergências.
- d) **Melhoria na qualidade de vida:** ao integrar a tecnologia de forma inteligente, o CAN não garante apenas a segurança, mas também melhora a qualidade de vida. Reduzir a dependência de mensagens SMS contribui para uma comunicação mais eficiente e menos intrusiva, promovendo um ambiente mais harmonioso.

Ao analisar as Figuras 6, constatamos que se tem registado uma tendência de diminuição no número de mensagens SMS na plataforma. Este decréscimo pode ser atribuído à eficácia aprimorada da plataforma, que permitiu uma gestão mais inteligente e direcionada das informações. Com a consolidação das diversas infraestruturas, o CAN proporcionou uma visão holística e centralizada, reduzindo a necessidade de comunicações redundantes e simplificando o processo de notificação. Além disso, a implementação de tecnologias avançadas, como IA e análise de dados, possibilitou uma identificação mais precisa e uma resposta proativa a eventos críticos, eliminando a dependência excessiva de mensagens SMS. Este cenário reflete não apenas uma eficiência operacional aprimorada, mas também uma adaptação estratégica às necessidades dinâmicas das infraestruturas integradas, demonstrando a capacidade do CAN em melhorar a comunicação de alertas de forma mais eficiente e seletiva.

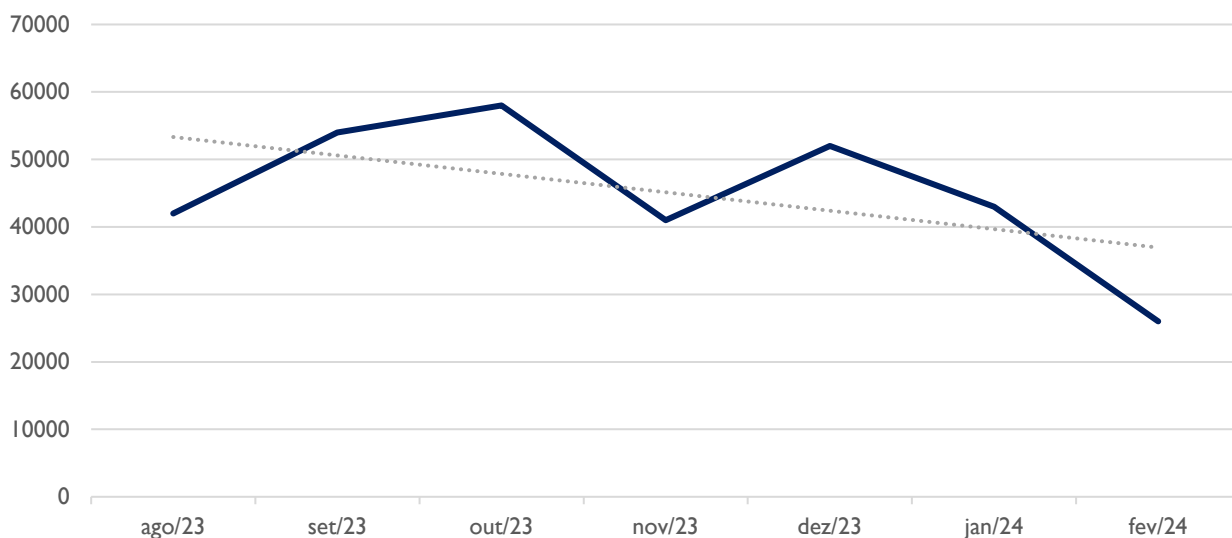


Figura. 6. Número de SMS enviados

No âmbito deste caso de estudo, foi conduzido um inquérito entre os colaboradores com o intuito de avaliar os impactos da implementação da plataforma. As respostas de um total de 87 participantes, selecionados entre os 400 utilizadores mais ativos da solução, revelaram percepções positivas e realçaram diversos benefícios proporcionados pela plataforma. Entre os resultados mais significativos, destaca-se que 86% dos colaboradores indicaram que a plataforma trouxe benefícios para a organização. As principais áreas de impacto identificadas, por ordem de preferência, foram as seguintes na Tabela.2.

Ordem de preferência	Descrição do benefício
1º	Melhorou o foco e aumentar a produtividade
2º	Melhorou a qualidade de vida dos trabalhadores promovendo equilíbrio entre trabalho e a vida pessoal
3º	Contribuiu para uma maior satisfação no trabalho
4º	Reduziu a ansiedade causada pelo stress
5º	Melhorou a qualidade do sono
6º	Melhorou os relacionamentos pessoais

Tabela 2. Análise dos benefícios identificados, com a implementação do CAN, pelos colaboradores

6. CONCLUSÃO

É fundamental compreender que a digitalização, por si só, não representa a totalidade da Transformação Digital, esta última é um processo abrangente que influencia todos os aspetos de uma organização [56]. Neste contexto, é crucial que exista uma vontade efetiva e genuína de abraçar esta transformação. Reconhecendo que a Transformação Digital vai além da simples adoção de tecnologias, torna-se imperativo que as organizações adotem uma cultura e uma mentalidade propícias à inovação e à adaptação contínua [57]. O sucesso desta jornada de transformação está intrinsecamente ligado à disposição para quebrar com paradigmas estabelecidos e adotar uma mentalidade orientada para o futuro [58].

Para que a Transformação Digital atinja o seu potencial máximo, é necessário adotar uma abordagem integrada e que una tanto a Engenharia como a Reengenharia. A Engenharia desempenha um papel crucial no desenvolvimento e implementação de soluções digitais, abrangendo desde a conceção de sistemas até à cibersegurança. Simultaneamente, a Reengenharia assegura que as mudanças digitais estejam alinhadas com os objetivos estratégicos da organização, promovendo uma revisão e otimização eficientes dos processos existentes, além de fomentar uma cultura de adaptação e melhoria contínua. Juntas, estas disciplinas formam uma sinergia essencial para conduzir a uma Transformação Digital bem-sucedida. Ao combinar os fundamentos sólidos da Engenharia, a agilidade transformadora da Reengenharia e as inovações tecnológicas da Transformação Digital, permite-se uma estratégia abrangente para enfrentar os novos desafios e oportunidades da indústria da água.

Ao analisarmos o caso de estudo apresentado, podemos verificar como a aplicação desses princípios e a integração das disciplinas mencionadas possibilitam uma abordagem holística e eficaz para impulsionar a Transformação Digital no setor da água.

Referências

- [1] Erwin Sacoto-Cabrera, Ismaela Castillo, Wilson Pauta, Paulb Trelles, Pablob Tamariz, Leimer Guambana, "Smart-Water: Digital Transformation of Urban Water Measurement", 2022 IEEE ANDESCON: Technology and Innovation for Andean Industry, ANDESCON, 2022
- [2] Carol Boyle, Greg Ryan, Pratik Bhandari, Kris M. Y. Law, Jinzhe Gong, Douglas Creighton, "Transformation in Water Organizations", *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 142, July 2022
- [3] Claire Hoolohan, Godfred Amankwaa, Alison L. Browne, Adrian Clear, Kirsty Holstead, Ruth Machen, Ola Michalec, Sarah Ward, "Resocializing digital water transformations: Outlining social science perspectives on the digital water journey", *WIRES Water*, vol. 2, February 2021
- [4] William Sarni, "Digital Water - Enabling a More Resilient, Secure And Equitable Water Future", Routledge, December 2021
- [5] Feliciano, João Faria Feliciano, André Marques Arsénio, Joana Cassidy, Ana Rita Santos, Alice Ganhão, "Knowledge Management and Operational Capacity in Water Utilities, a Balance between Human Resources and Digital Maturity—The Case of AGS", *Water (Switzerland)*, vol. 13, 2021
- [6] Magnusa Arnell, Mayab Miltell, Gustafa Olsson, "Making waves: A vision for digital water utilities", *Water Research X*, vol. 19, 2023
- [7] Gregory Vial, "Understanding digital transformation: A review and a research agenda" vol. 28 (2) , pp.118-144, June 2019
- [8] Balogun, A. L., Marks, D., Sharma, R., Shekhar, H., Balmes, C., Maheng, D., . . . Salehi, P. (2020, February). Assessing the Potentials of Digitalization as a Tool for Climate Change Adaptation and Sustainable Development in Urban Centres. *Sustainable Cities and Society*, 53(101888). doi:10.1016/j.scs.2019.101888
- [9] World Economic Forum. (2020). Strategic Intelligence, <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000015MLgEAM?tab=publications>
- [10] Sarni, W. (2021). Digital Water - Enabling a More Resilient, Secure And Equitable Water Future. (T. & LTD, Ed.) doi:10.4324/9780429439278
- [11] Pélaudeau, P., J. Neibuhr, and M. Toumi. 2016. "The digitization of utilities: There is a will, but is there a way?" Accessed May 30, 2020. <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/2016/the-digitization-of-utilities/the-digitization-of-utilities.pdf>.
- [12] Vial, G. (2019, June). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144. doi:10.1016/j.jsis.2019.01.003
- [13] Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889-901. doi:10.1016/j.jbusres.2019.09.022
- [14] Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital Transformation Strategies. *Business and Information Systems Engineering*, 57, 339-343. doi:10.1007/s12599-015-0401-5
- [15] International Water Association. (2022). Digital Water. Retrieved from https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2019/06/IWA_2019_Digital_Water_Report.pdf
- [16] Johnson, M., et al. (2018). "GIS Applications in Water Resources Engineering: Planning and Management". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(2), 04017087.
- [17] Zhang, Y., et al. (2020). "Artificial Intelligence Applications in Water Resources Management: A Review". *Journal of Hydrology*, 589, 125077.
- [18] Wang, H., et al. (2019). "Internet of Things (IoT) in Water: A Review on Technologies, Challenges and Future Directions". *Science of the Total Environment*, 657, 1078-1093.
- [19] Chakraborty, S., & Kaushal, A. (2019). "Blockchain Technology in Water Resources Management: A Review". *Journal of Hydrology*, 568, 1063-1077.
- [20] Schuurman, T., et al. (2019). "Big Data for Water Management: A Review". *Environmental Modelling & Software*, 119, 283-295.
- [21] Cao, Y., et al. (2021). "Digital Twin: A Comprehensive Survey from Its Birth to Implementation in Water Industry". *Journal of Hydroinformatics*, 23(1), 130-156.
- [22] Silva, A., & Santos, B. (2020). "Comportamento do Consumidor na Indústria da Água: Tendências e Implicações". *Revista de Gestão de Recursos Hídricos*, 35(2), 217-230.
- [23] Carvalho, M., & Pereira, J. (2019). "Disponibilidade de Dados na Indústria da Água: Desafios e Oportunidades". *Revista de Engenharia Ambiental*, 28(4), 489-502.
- [24] Gonçalves, P., & Fernandes, R. (2020). "Abordagens Orientadas por Dados para a Gestão da Água: Uma Revisão Abrangente". *Revista de Hidroinformática*, 22(3), 421-435.
- [25] Costa, R., & Oliveira, L. (2018). "Modelos de Negócio em Mudança na Indústria da Água: Oportunidades e Desafios". *Revista Internacional de Economia Ambiental e Gestão*, 15(2), 178-192.
- [26] Almeida, C., et al. (2019). "Melhoria da Gestão de Ativos no Setor da Água: Tecnologias e Aplicações". *Revista de Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos*, 24(1), 112-125.
- [27] Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2019). "Gestão de Sistemas de Informação". Pearson.
- [28] Johnson, M. W., Christensen, C. M., & Kagermann, H. (2008). "Reinventar o modelo de negócios". *Harvard Business Review*, 86(12), 50-59
- [29] West, M. A., & Farr, J. L. (1990). "Inovação e criatividade no trabalho: Estratégias psicológicas e organizacionais". John Wiley & Sons.
- [30] Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2019). "Gestão de Sistemas de Informação". Pearson.
- [31] Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2015). "Estratégia, não tecnologia, impulsiona a transformação digital". *MIT Sloan Management Review*, 14, 1-20.
- [32] Marr, B. (2016). "Como big data e analytics estão a transformar a gestão da cadeia de abastecimento". *Forbes*.
- [33] Kotter, J. P., & Schlesinger, L. A. (2008). "Escolher estratégias para a mudança". *Harvard Business Review*, 57(2), 106-114.
- [34] Armenakis, A. A., & Bedeian, A. G. (1999). "Organizational change: A review of theory and research in the 1990s". *Journal of Management*, 25(3), 293-315.
- [35] Ford, J. D., & Ford, L. W. (2010). "The role of conversations in producing intentional change in organizations". *Academy of Management Review*, 35(3), 392-414.
- [36] Nielsen, J., & Loranger, H. (2006). "Prioritizing Web Usability". New Riders.
- [37] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2004). "Estratégia em Ação: Balanced Scorecard". Campus.
- [38] Bemelmans-Vidéc, M. L., Rist, R. C., & Vedung, E. O. (1998). "Características de uma avaliação útil de políticas públicas". *Evaluation*, 4(4), 471-491.
- [39] Cavoukian, A., & Castro, D. (2015). "Privacy by Design for the Internet of Things: Six Key Features". *World Economics*, 16(3), 33-46.
- [40] Daft, R. L. (2015). "Teoria e Design Organizacional". Cengage Learning
- [41] Schein, E. H. (2010). "Cultura Organizacional e Liderança". John Wiley & Sons.
- [42] Kotter, J. P. (2012). "Liderar a Mudança". Harvard Business Review Press.
- [43] Davenport, T. H., & Kirby, J. (2015). "Apenas Humanos Precisam de Aplicar: Vencedores e Perdedores na Era das Máquinas Inteligentes"
- [44] OECD. (2020). Digital Economy Outlook 2020. OECD Publishing. Disponível em: Link
- [45] Henke, N., Bughin, J., Chui, M., Manyika, J., Saleh, T., & Wiseman, B. (2016). A Strategist's Guide to Industry 4.0. McKinsey & Company.
- [46] Referência: Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. OECD Publishing.
- [47] Floridi, L. (2013). The Ethics of Information. Oxford University Press.
- [48] Lange, E. A., & Guijt, I. (2019). The Digitalization of Energy Systems. In *The Digital Transformation of the Public Sector: Challenges and Opportunities* (pp. 143-160). Springer, Cham.
- [49] Gonçalves, A., & Silva, J. (2020). Impacto da Transformação Digital na Eficiência Operacional das Organizações. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, (53), 65-80.
- [50] Santos, T. C., & Pereira, R. M. (2018). A Transformação Digital e a Melhoria do Desempenho Organizacional: Um Estudo Exploratório em Empresas Portuguesas. *Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão*, 17(1), 18-33.
- [51] Alves, M., & Ribeiro, C. (2019). O Papel das Tecnologias de Informação e Comunicação na Melhoria do Envolvimento do Cliente. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação*, 18(1), 1-17.
- [52] Garcia, A. (2021). Contribuições da Transformação Digital para a sustentabilidade e qualidade de vida na sociedade. *Revista de Tecnologia e Inovação*, 10(3), 150-165.
- [53] <https://www.adnorte.pt/comunicacao/noticias/?id=69&idn=444>
- [54] "Society 5.0: Um Novo Sistema Social com Foco em 'Sistemas Ciberfísicos' Emerge no Japão." - Instituto Nacional de Tecnologias de Informação e Comunicação (NICT), 2018. <https://www.nict.go.jp/en/press/2018/11/28-1.html>
- [55] "Society 5.0: Colocar os Humanos no Centro das Sociedades Superinteligentes." - Fórum Económico Mundial, 2018. <https://www.weforum.org/agenda/2018/09/society-5-0-japan/>
- [56] Silva, J. et al. (Ano). "Impacto da Transformação Digital no Setor da Água." *Revista de Engenharia Ambiental*, Volume(Issue),
- [57] Pereira, A. et al. (Ano). "Desafios e Oportunidades na Digitalização do Abastecimento de Água." *Conferência Internacional sobre Tecnologias Sustentáveis*, Páginas.
- [58] Santos, M. et al. (Ano). "Cultura Organizacional e Transformação Digital: Um Estudo de Caso