

MESTRADO EM DESAFIOS DAS CIDADES

A análise da implementação de uma plataforma 3D para a monitorização do desenvolvimento urbano em tempo real:

**Caso de estudo da cidade de Vila Nova de Gaia - desafios
e oportunidades**

Hugo Moura

M

2024



Hugo Moura

A análise da implementação de uma plataforma 3D para a monitorização do desenvolvimento urbano em tempo real:

Caso de estudo da cidade de Vila Nova de Gaia - desafios e oportunidades

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Desafios das Cidades, orientada pelo Professor Doutor Paulo Novais, pelo Professor Doutor Cândido López e pela Professora Doutora Ana Monteiro

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

2024

Sumário

Declaração de honra	5
Agradecimentos	6
Resumo.....	7
Abstract	8
Índice de Figuras	9
Índice de Gráficos.....	10
Glossário.....	11
Lista de abreviaturas e siglas.....	13
1.Introdução	14
1.1. Motivação	14
1.2 Contextualização	16
1.3 Objetivos da dissertação	18
1.4 Metodologia	21
1.5 Estrutura da dissertação.....	23
2. Revisão da literatura	27
2.1 Conceito de gémeo digital	27
2.2 Aplicações dos gémeos digitais	34
2.3 Tecnologias envolvidas.....	39
2.4 Oportunidades e Desafios	42
3. Análise contextual de Vila Nova de Gaia	46
3.1 Caracterização urbana de Vila Nova de Gaia	46
3.2 O planeamento urbano na atualidade	48
3.3 Organização da divisão de urbanismo	53
3.4 Recursos tecnológicos e humanos	55
3.5 Potencial para a implementação de um gémeo digital	59
4. Implementação Tecnológica	63
4.1 Infraestrutura necessária	63
4.2 Software e ferramentas	66
4.3 Segurança e privacidade de dados.....	74
5. Outros aspetos relevantes	77

5.1 Envolvimento comunitário	77
5.2 Aspectos legais e regulamentares.....	79
5.3 Sustentabilidade e Impacto ambiental	83
6. Vantagens e Desvantagens.....	87
6.1 Vantagens.....	87
6.2 Desvantagens	90
7. Caso prático: Submissão e apreciação de projetos online	95
7.1 Descrição do processo atual	95
7.2 Vantagens da implementação digital com recurso a AI.....	98
8. Conclusão	102
8.1 Síntese dos resultados.....	102
8.2 Recomendações	105
8.3 Considerações finais.....	109
Referências Bibliográficas	113
Apêndices	115
Apêndice 1.....	116

Declaração de honra

Declaro que o presente dissertação é de minha autoria e não foi utilizado previamente noutro curso ou unidade curricular, desta ou de outra instituição. As referências a outros autores (afirmações, ideias, pensamentos) respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, e encontram-se devidamente indicadas no texto e nas referências bibliográficas, de acordo com as normas de referência. Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Porto, 15 de Outubro de 2024

Hugo Moura

Agradecimentos

Gostaria de começar por expressar o meu sincero agradecimento ao Professor Paulo Novais, por ter aceite orientar este trabalho e pela disponibilidade e orientação inestimável ao longo deste percurso. O seu conhecimento foi fundamental para a concretização desta dissertação. Estendo igualmente os meus agradecimentos aos Professores Cândido Lopes e Ana Monteiro, pelos seus contributos e orientações para a realização deste trabalho.

À Professora Helena Madureira e à Professora Ana Monteiro, mais uma vez, o reconhecimento pela constante dedicação e aconselhamento criterioso que proporcionaram a mim e aos demais alunos.

À arquiteta Carla Pires, manifesto um agradecimento especial pela sua disponibilidade e generosidade ao acolher-me na Gaiurb. A sua partilha de conhecimentos e experiência foi de grande valor para este percurso académico.

Aos colegas da Universidade do Porto, que me acompanharam em inúmeras horas de estudo e partilha de ideias, deixo uma nota de reconhecimento, com uma menção especial à Madalena Barbosa pelo seu inalcançável apoio. Agradeço igualmente a todos os outros colegas que tive a oportunidade de conhecer, fazer amigos e criar momentos memoráveis ao longo deste caminho.

Aos amigos que, direta ou indiretamente, incentivaram e estimularam a realização deste trabalho, o meu profundo agradecimento. O vosso encorajamento, mesmo à distância, foi de inestimável valor.

À minha família, aos meus pais e à Filipa, devo o mais profundo agradecimento e apreço. Por estarem sempre presentes nos momentos decisivos, e pelo exemplo de trabalho e método que me transmitiram e será sempre um guia para a minha conduta profissional e pessoal.

E, por último, à Maria, agradeço por todo o carinho e apoio que tornaram este caminho mais leve.

Resumo

A dissertação analisa a implementação de uma plataforma tecnológica, baseada em gémeos digitais, para a monitorização do desenvolvimento urbano em tempo real, tendo como caso de estudo a cidade de Vila Nova de Gaia. O trabalho destaca o potencial transformador das tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (AI) e o Big Data, na otimização dos processos de planeamento e gestão urbanística. O conceito de gémeo digital é apresentado como uma ferramenta inovadora que oferece uma representação virtual precisa da cidade, permitindo a supervisão contínua e a simulação de cenários futuros. A pesquisa aborda os desafios e as oportunidades associados à implementação desta tecnologia, com particular ênfase na eficiência, sustentabilidade e participação cívica. Através da análise crítica dos processos urbanísticos atuais, associada à proposta de um modelo de implementação, o estudo argumenta que a aplicação de gémeos digitais pode desburocratizar os procedimentos, melhorar a gestão urbana e promover um desenvolvimento sustentável. Neste contexto, Vila Nova de Gaia surge como um campo privilegiado para o estudo e o desenvolvimento desta tecnologia em Portugal.

Palavras-chave: Gémeos digitais, urbanismo, Vila Nova de Gaia, desenvolvimento urbano, tecnologia.

Abstract

This dissertation analyses the implementation of a technological platform based on digital twins for real-time monitoring of urban development, using the city of Vila Nova de Gaia as a case study. The work highlights the transformative potential of emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and Big Data, in optimizing urban planning and management processes. The concept of the digital twin is introduced as an innovative tool that provides an accurate virtual representation of the city, enabling continuous supervision and the simulation of future scenarios. The research addresses the challenges and opportunities associated with the implementation of this technology, with particular emphasis on efficiency, sustainability, and civic engagement. Through a critical analysis of current urban planning processes, coupled with the proposal of an implementation model, the study argues that the application of digital twins can streamline bureaucratic procedures, improve urban management, and foster sustainable development. In this context, Vila Nova de Gaia emerges as a privileged field for the study and development of this technology in Portugal.

Key-words: Digital twins, urban planning, Vila Nova de Gaia, urban development, technology.

Índice de Figuras

FIGURA 1 - GÉMEO DIGITAL DE UM MOTOR.....	27
FIGURA 2 - O AMBIENTE FÍSICO A SER ESPELHADO NUM MUNDO DIGITAL	28
FIGURA 3 - A INTERNET DAS COISAS.....	29
FIGURA 4 - IMAGEM ILUSTRATIVA DO CICLO DE FUNCIONAMENTO DE UM GÉMEO DIGITAL	30
FIGURA 5 - DO MUNDO REAL AO DIGITAL.....	32
FIGURA 6 - VIRTUAL SINGAPORE: GÉMEO DIGITAL DO SISTEMA RODOVIÁRIO	35
FIGURA 7 - A ÁREA DE KALASATAMA, EM HELSÍNQUIA	36
FIGURA 8 - THE BOSTON PLANNING AND DEVELOPMENT AGENCY: 3D SMART MODEL	37
FIGURA 9 - SMART CAMBRIDGE	38
FIGURA 10 - NA IoT, CADA DISPOSITIVO ESTÁ INTERLIGADO	39
FIGURA 11 - A REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA.....	41
FIGURA 12 - O RIO DOURO	46
FIGURA 13 - INTERFACE DO BALCÃO VIRTUAL DA GAIURB	49
FIGURA 14 - REQUALIFICAÇÃO DA FRENTE RIBEIRINHA EM OLIVEIRA DO DOURO	50
FIGURA 15 - A NOVA PONTE DA LINHA RUBI DO METRO DO PORTO	51
FIGURA 16 - O PARQUE DAS DUNAS DA AGUDA.....	52
FIGURA 17 - SEDE DA GAIURB.....	53
FIGURA 18 - CENTRO DE MONITORIZAÇÃO DE TRÁFEGO	57
FIGURA 19 - EXEMPLO DE UMA PLATAFORMA DE VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	60
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM GÉMEO DIGITAL NUMA CIDADE INTELIGENTE.....	64
FIGURA 21 - DIAGRAMA DE UM ECOSISTEMA DE GÉMEO DIGITAL	67
FIGURA 22 - MODELO 3D DETALHADO DE UMA CIDADE	68
FIGURA 23 - INTERFACE DO SISTEMA MUNICIPAL DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DE VILA NOVA DE GAIA	69
FIGURA 24 - EXEMPLO DE VISUALIZAÇÃO NA PLATAFORMA GOOGLE INSIGHTS FOR SUSTAINABILITY	71
FIGURA 25 - SIMULAÇÃO DE OTIMIZAÇÃO DE VISTAS E CIRCULAÇÃO NO AMBIENTE URBANO	72
FIGURA 26 - EXEMPLO DE MODELO 3D CRIADO COM A TECNOLOGIA MATTERPORT	73
FIGURA 27 - OS SETE PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DO GDPR	80
FIGURA 28 - MAPA DE CALOR ILUSTRANDO A CONCENTRAÇÃO DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM LONDRES	85
FIGURA 29 - EXEMPLO DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE MOBILIDADE URBANA PELO LICIT-ECO7	88
FIGURA 30 - MODELO INTEGRADO DE CIBERSEGURANÇA PARA CIDADES INTELIGENTES	92

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1 - O CONCEITO DE GÉMEO DIGITAL TEM VINDO A EVOLUIR	34
---	----

Glossário

AI (Inteligência Artificial) - Área da ciência computacional que se dedica ao desenvolvimento de algoritmos e sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente requerem a inteligência humana, como o reconhecimento de padrões, a tomada de decisões e a previsão de cenários.

AR (Realidade Aumentada) - Tecnologia que permite a sobreposição de elementos virtuais ao mundo real através de dispositivos eletrônicos, o que possibilita uma experiência interativa que combina a percepção física com informações digitais adicionais.

BIM (Building Information Modeling) - Processo de modelação da informação da construção que utiliza modelos digitais detalhados para detalhar o ciclo de vida de edifícios e infraestruturas, desde o design até à operação.

Big Data - Conjunto de dados vasto e complexo que requer métodos avançados de análise para a extração de informações significativas, crucial em contextos como a monitorização urbana e o desenvolvimento de gémeos digitais.

Gémeo Digital - Representação virtual precisa e dinâmica de um objeto, sistema ou processo físico, que reflete o estado atual do seu equivalente físico em tempo real, permitindo simulações e análises preditivas.

IoT (Internet das Coisas) - Rede de dispositivos interconectados que comunicam entre si e com sistemas centrais, na recolha de dados em tempo real. No urbanismo, possibilita a monitorização das infraestruturas, tráfego e condições ambientais.

ML (Machine Learning ou Aprendizagem Automática) - Subcampo da IA que permite aos sistemas aprenderem automaticamente com dados e melhorar a performance ao longo do tempo, sendo amplamente utilizado em sistemas preditivos e de análise urbana.

PRR (Plano de Recuperação e Resiliência) - Programa financiado pela União Europeia para apoiar os Estados-membros na implementação de reformas e projetos de investimento, com foco em áreas estratégicas como a digitalização e sustentabilidade.

SIG (Sistemas de Informação Geográfica) - Tecnologia que permite a recolha, análise e visualização de dados geoespaciais para apoio no planeamento e gestão urbana, sendo essencial para a criação e funcionamento de gémeos digitais.

Smig.Gaia (Sistema de Informação Geográfica Municipal de Gaia) - Plataforma de gestão de dados geoespaciais de Vila Nova de Gaia, que permite a visualização e análise dos dados urbanos para informar as decisões no âmbito do planeamento e desenvolvimento urbano.

VR (Realidade Virtual) - Tecnologia que cria ambientes virtuais imersivos através de dispositivos especializados, utilizada no contexto dos gémeos digitais para a simulação e análise de cenários complexos no ambiente urbano.

Lista de abreviaturas e siglas

AI	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
AR	REALIDADE AUMENTADA
BIM	BUILDING INFORMATION MODELLING
BPDA.....	BOSTON PLANNING AND DEVELOPMENT AGENCY
BIG DATA	GRANDES VOLUMES DE DADOS
IoT.....	INTERNET DAS COISAS
IT.....	UNIDADE DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO
ML	MACHINE LEARNING (APRENDIZAGEM AUTOMÁTICA)
PRR	PLANO DE RECUPERAÇÃO E RESILIÊNCIA
SIG	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
SMIG.GAIA	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA MUNICIPAL DE GAIA
VR	REALIDADE VIRTUAL

1. Introdução

1.1. Motivação

A escolha do tema para a dissertação de mestrado, "A análise da implementação de uma plataforma 3D para a monitorização do desenvolvimento urbano em tempo real: caso de estudo da cidade de Vila Nova de Gaia - desafios e oportunidades", surge da confluência de várias influências e interesses pessoais que, influenciados pela prática no ramo da arquitetura, descrevem o meu percurso profissional e os interesses de investigação. Em primeiro lugar, como arquiteto, sempre me fascinou a forma como as cidades evoluem e se transformam com o tempo, na procura de uma adaptação às exigências e aspirações da sociedade. Este interesse pela gestão e planeamento urbano, que mais tarde foi complementado pelo entusiasmo e otimismo da inovação tecnológica, conduziu-me de forma natural a explorar o potencial das tecnologias avançadas no domínio do urbanismo. De um ponto de vista mais abrangente, o meu interesse passou a centrar-se na intersecção entre o impacto transformador da tecnologia e a forma como experienciamos e moldamos os ambientes em que vivemos.

“Nós moldamos as cidades, mas as cidades também nos moldam. Nós criamos os edifícios, e depois são os edifícios que nos moldam a nós.” (Gehl, 2023)

Esta citação de Jan Gehl, um reconhecido urbanista dinamarquês, destaca a interação complexa e contínua entre o ambiente construído e os seus habitantes, ao evidenciar a importância de projetar cidades que não apenas respondam às necessidades humanas, mas também enriqueçam de um modo significativo a experiência urbana. Uma visão que inspira a motivação deste estudo, que procura explorar de que forma as tecnologias emergentes, como os gémeos digitais, podem desempenhar um papel transformador na gestão e desenvolvimento das cidades.

O desenvolvimento e implementação de um gémeo digital, desenvolvido especificamente para a cidade de Vila Nova de Gaia, representa uma oportunidade

para investigar como a tecnologia pode redefinir os processos urbanísticos. A minha experiência profissional tem demonstrado, repetidamente, os inúmeros desafios enfrentados, tanto pelos profissionais ligados ao urbanismo como pelos próprios cidadãos, devido à rigidez burocrática e à ineficiência inerente a muitos dos procedimentos atuais. Tratam-se de obstáculos que, frequentemente, resultam em atrasos consideráveis e alimentam um sentimento de frustração para todas as partes envolvidas. Estou genuinamente convicto de que a introdução gradual de tecnologias inovadoras, como a inteligência artificial e a sua integração em gémeos digitais, tem o potencial de revolucionar a forma como as cidades se desenvolvem e são geridas.

No contexto académico, o Mestrado em Desafios das Cidades tem-se revelado uma experiência profundamente enriquecedora, ao oferecer uma perspetiva holística sobre as complexidades do urbanismo contemporâneo. A natureza multidisciplinar do programa, marcada por interações com profissionais de diversas áreas, tem sido fundamental no desenvolvimento das minhas competências técnicas, enquanto promove uma compreensão mais ampla e integrada dos desafios inerentes à gestão urbana, através de uma perspetiva inovadora.

A escolha de Vila Nova de Gaia como caso de estudo deve-se ao seu notável dinamismo e potencial para um crescimento sustentável. A implementação de um gémeo digital nesta cidade apresenta-se como uma oportunidade com a capacidade de servir como modelo para outras localidades, demonstrando as vantagens da tecnologia na simplificação e otimização dos processos urbanísticos, e na promoção de uma maior agilidade na gestão do território nacional.

Em síntese, a motivação subjacente a este estudo é impulsionada pela minha paixão pela arquitetura, pela gestão urbana e pela inovação tecnológica. Acredito que a implementação de tecnologias avançadas no campo do urbanismo pode melhorar a eficiência dos processos, assim como promover uma governança mais transparente e participativa, alinhada com os princípios de um desenvolvimento urbano sustentável. Esta dissertação representa, assim, um passo significativo na materialização dessa

visão, com o propósito de transformar a forma como concebemos e gerimos os espaços urbanos no futuro.

1.2 Contextualização

As cidades, como epicentros da atividade humana, são organismos em permanente transformação para responder às necessidades dinâmicas da população. O processo de adaptação e evolução é impulsionado pelo progresso tecnológico, que oferece as ferramentas e metodologias necessárias para enfrentar os desafios urbanos contemporâneos. A intersecção entre o urbanismo e o avanço tecnológico assume, assim, uma crescente relevância no século XXI.

No contexto do urbanismo moderno, a integração das tecnologias emergentes tem o potencial de reconfigurar profundamente a forma como as cidades são planeadas, geridas e desenvolvidas. As ferramentas digitais, como os gémeos digitais, representam um passo significativo nesta direção, ao proporcionarem uma representação virtual precisa que possibilita a monitorização, simulação e otimização instantânea do desenvolvimento urbano.

Um gémeo digital pode ser então definido como uma representação virtual de um objeto, sistema ou processo físico, que é continuamente atualizado com dados em tempo real provenientes de sensores, dispositivos conectados e outras fontes de informação. Esta tecnologia permite uma supervisão contínua que torna possível não só a visualização e análise dos dados, mas também a otimização proativa dos processos urbanos.

A implementação de um gémeo digital, que inclui a integração de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), Big Data, Machine Learning (ML), Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR), proporciona um leque abrangente de vantagens. Tratam-se de tecnologias que permitem a análise de grandes volumes de dados para descobrir padrões e tendências relevantes que podem ser depois utilizados de forma estratégica na tomada de decisão. Através da capacidade de simulação de cenários e da previsão

de tendências futuras, é possível realizar um planeamento que minimiza os riscos e otimiza os recursos disponíveis.

“Os gémeos digitais oferecem uma representação virtual precisa de objetos ou sistemas físicos, permitindo a sua monitorização, simulação e otimização em tempo real. No contexto do urbanismo, esta tecnologia possibilita a melhoria da eficiência operacional, ao mesmo tempo que promove uma maior transparência e participação dos cidadãos na gestão das cidades inteligentes.”

(TOTVS, 2020)

A evolução tecnológica não se limita ao planeamento urbano, tendo também um impacto profundo em domínios, como a mobilidade, a gestão dos recursos, a sustentabilidade ambiental e a participação cívica. A capacidade de integrar dados provenientes de múltiplas fontes e de envolver a comunidade ativamente nos processos de tomada de decisão promove uma governança mais transparente e inclusiva. Um aspeto que se torna particularmente importante no contexto de uma acelerada urbanização, na qual a maior parte da população mundial reside nas áreas urbanizadas.

No caso específico de Vila Nova de Gaia, uma cidade caracterizada por uma malha urbana dispersa, que enfrenta desafios estruturais e um histórico recente de crescimento acelerado, o uso inteligente da tecnologia, com destaque para a implementação de um gémeo digital, surge particularmente aliciante como uma resposta inovadora para os desafios contemporâneos da cidade.

A ausência de automatização nos processos resulta em várias ineficiências que afetam negativamente o desenvolvimento das cidades. A dependência dos procedimentos manuais, sobretudo nas tarefas administrativas e de monitorização, atrasa significativamente a tomada de decisões, e aumenta o risco de erros humanos, além de frequentemente resultar na duplicação de esforços. A falta de integração dos dados em tempo real e a dificuldade em processar os grandes volumes de informações agravam a fragmentação da gestão, o que dificulta a implementação de soluções ágeis.

Problemas que se tornam particularmente críticos nas cidades em crescimento acelerado, nas quais uma rápida capacidade de resposta é imprescindível para enfrentar os complexos desafios urbanos. Neste contexto, a automatização e a utilização de tecnologias como os gémeos digitais assumem-se como elementos-chave para a modernização da gestão urbana.

Além disso, a evolução tecnológica, que também influencia o urbanismo contemporâneo, é essencial para combater a burocracia e superar as ineficiências dos processos. A automatização das tarefas rotineiras e a utilização de inteligência artificial para a análise de dados pode acelerar os processos de aprovação e monitorização de projetos, reduzindo os custos e prazos de execução. Tais ganhos de eficiência são cruciais para aumentar a competitividade e a atratividade das cidades, tanto para residentes como para investidores.

Em resumo, a importância do urbanismo moderno e da evolução tecnológica no contexto da gestão urbana é inegável. A integração de tecnologias sofisticadas, como os gémeos digitais, proporciona uma oportunidade para impulsionar a concretização das *smart cities*, resultando em ganhos significativos na gestão urbana e na promoção de um desenvolvimento mais sustentável e inclusivo. A cidade de Vila Nova de Gaia, enquanto caso de estudo, ilustra o potencial transformador desta inovação tecnológica no cenário urbano.

1.3 Objetivos da dissertação

O objetivo principal desta dissertação é **investigar o impacto da implementação de um gémeo digital na otimização dos processos urbanísticos em Vila Nova de Gaia**. A pesquisa procura demonstrar como esta tecnologia pode melhorar diversos aspetos da gestão urbana, nomeadamente em termos de eficiência, simplificação, funcionalidade e sustentabilidade.

Para alcançar o objetivo principal da dissertação, são estabelecidos vários objetivos intermédios:

Análise do estado atual dos processos urbanísticos em Vila Nova de Gaia

Em primeiro lugar, proceder-se-á a uma análise do estado atual dos processos urbanísticos em Vila Nova de Gaia. A avaliação inclui uma avaliação das práticas e procedimentos atualmente usados na gestão e planeamento urbano, com o intuito de identificar os principais desafios e as ineficiências do sistema. Trata-se de uma fase importante para compreender o ponto de partida e identificar as áreas críticas nas quais a implementação de um gémeo digital pode trazer melhorias significativas.

Exploração do potencial dos gémeos digitais no urbanismo

A dissertação irá, posteriormente, aprofundar o potencial dos gémeos digitais no contexto urbanístico, com a investigação da definição e aplicações específicas em ambientes urbanos, ilustradas por exemplos de casos de estudo internacionais. Para além disso, será avaliada a integração das tecnologias que se prevê incluir, como a IoT, Big Data, Machine Learning, AR e VR, com o objetivo de maximizar o impacto na criação de um gémeo digital.

A análise permitirá identificar as melhores práticas e destacar as tecnologias com maior potencial de aplicação imediata no contexto de Vila Nova de Gaia.

Desenvolvimento de um modelo de implementação

Outro objetivo importante consiste no desenvolvimento de um modelo de implementação, que abrange os aspetos críticos para a introdução eficaz do gémeo digital no ambiente urbano:

Estrutura funcional e tecnológica requerida

- Definição dos recursos humanos necessários para operar e manter o gémeo digital, incluindo especialistas em análise de dados, cibersegurança, e gestão de IoT.
- Identificação das infraestruturas tecnológicas indispensáveis, tais como redes de comunicação robustas e plataformas de armazenamento de dados na cloud.
- Seleção de ferramentas e softwares específicos para a captura, processamento e visualização de dados, que permitam a monitorização e simulação em tempo real do ambiente urbano.
- Implementação de sistemas de cibersegurança para proteger dados sensíveis e assegurar a conformidade com as normas de proteção de dados, um ponto crítico para um funcionamento seguro do sistema.

Promoção da inclusão e participação cívica

- Desenvolvimento de estratégias para o envolvimento direto da comunidade local na utilização do gémeo digital.
- Planeamento de iniciativas de sensibilização e formação da comunidade para acelerar a aceitação e utilização prática da tecnologia.
- Criação de canais de feedback e participação ativa da comunidade nos processos de gestão urbana, de modo a tornar o gémeo digital numa plataforma que potencia a transparência e inclusão nas decisões sobre o desenvolvimento urbano.

Avaliação das vantagens e desafios da implementação

Outro objetivo específico é a avaliação das vantagens e dos desafios inerentes à implementação, que permitirá identificar os aspetos positivos e os potenciais obstáculos ao projeto:

Vantagens

- Melhoria na eficiência dos processos urbanísticos através da digitalização e automação.
- Simplificação da burocracia e aumento da transparência governamental.
- Aumento do controlo sobre a sustentabilidade dos recursos urbanos, promovendo a funcionalidade dos sistemas de transporte, energia, e gestão de resíduos.

Desafios

- Questões de segurança e privacidade de dados, que requerem políticas rigorosas e infraestrutura adequada para proteger as informações recolhidas e transmitidas em tempo real.
- Resistência à mudança por parte de alguns setores, que poderá dificultar a integração do gémeo digital nos processos de gestão já estabelecidos.
- Análise dos potenciais efeitos ambientais decorrentes da instalação de infraestruturas tecnológicas, como as redes de sensores e o armazenamento dos dados, que exigem o consumo de energia e podem afetar a sustentabilidade.
- Proposição de medidas que mitiguem o impacto ambiental, assegurando que o desenvolvimento urbano digitalizado se alinha com os princípios de responsabilidade ecológica.

Com a definição destes objetivos, a presente dissertação pretende fornecer uma visão abrangente de como as tecnologias digitais avançadas podem transformar a gestão urbana, ao proporcionar benefícios substanciais para todas as partes envolvidas.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada nesta dissertação visa fundamentar e aplicar o conhecimento sobre os gémeos digitais no contexto urbano de Vila Nova de Gaia. A investigação é

delineada de modo a garantir um entendimento teórico robusto e uma análise prática que explore o impacto e os desafios da implementação deste tipo de tecnologia nos processos urbanísticos.

A investigação inicia-se com uma revisão da literatura, cujo propósito é estabelecer um quadro teórico sobre os gémeos digitais, ao abordar a sua definição, evolução e implementação no contexto urbano. Esta etapa examina também as tecnologias de apoio, como a Internet das Coisas (IoT), o Big Data, o Machine Learning (ML) e a Realidade Aumentada (AR), fundamentais para a criação de um modelo digital. Além de traçar a origem e o desenvolvimento desta tecnologia, são analisados alguns exemplos internacionais já implementados que ilustram as melhores práticas e desafios comuns, servindo de referência para uma implementação prática desta tecnologia no urbanismo.

A revisão da literatura oferece uma base conceptual para a investigação e permite identificar as lacunas e oportunidades no contexto português. Os conhecimentos adquiridos nesta etapa servem de base para a análise dos processos urbanos que se segue, fornecendo as ferramentas e metodologias necessárias para compreender e otimizar os processos urbanísticos em Vila Nova de Gaia.

Com base nos fundamentos teóricos estabelecidos, a investigação prossegue com uma análise dos processos urbanísticos específicos de Vila Nova de Gaia, com o objetivo de identificar os principais desafios, ineficiências e oportunidades de melhoria que podem ser abordados através da implementação de um gémeo digital. Esta análise contextual foca-se nos procedimentos administrativos, recursos tecnológicos e humanos, e nas práticas atuais de gestão urbana.

Nesta etapa, é realizada uma caracterização do ambiente urbano de Vila Nova de Gaia, que inclui a avaliação das infraestruturas tecnológicas disponíveis e a análise das estruturas organizacionais responsáveis pelo planeamento e gestão urbana. Através de uma metodologia qualitativa, que inclui a recolha de dados empíricos e a realização de uma entrevista com um ator relevante no campo do urbanismo em Vila Nova de Gaia

(ver Apêndice 1), é possível obter uma visão compreensiva e fundamentada dos processos urbanos vigentes.

Com o intuito de aplicar o conhecimento adquirido na revisão da literatura ao caso específico de Vila Nova de Gaia, a análise de processos urbanos culmina na identificação de medidas práticas e recomendações para a implementação de um gémeo digital. Estas propostas visam otimizar a eficiência e a sustentabilidade dos processos urbanísticos da cidade, alinhando as melhores práticas internacionais ao contexto português.

Estrutura da Metodologia

Esta abordagem metodológica permite uma compreensão integrada da implementação dos gémeos digitais. A revisão da literatura e a análise de processos urbanos funcionam de modo complementar, que procura um equilíbrio entre a teoria e a prática para explorar o impacto potencial desta tecnologia no urbanismo local. Desta forma, a metodologia oferece uma estrutura sólida sem interferir na organização dos capítulos subsequentes, possibilitando uma leitura sequencial e coesa ao longo da dissertação.

Adicionalmente, são apresentadas algumas reflexões sobre o impacto potencial desta tecnologia no urbanismo contemporâneo, terminando a dissertação com uma visão otimista do futuro.

1.5 Estrutura da dissertação

A estrutura da tese foi organizada de modo a proporcionar uma análise abrangente do tema, dividindo-se em capítulos que abordam os diferentes aspetos da implementação de um gémeo digital, em particular no contexto dos processos urbanísticos.

Capítulo 1 – Introdução

O capítulo inicial estabelece o enquadramento da investigação, abordando as motivações subjacentes e as perguntas de partida que orientaram o estudo. Explora as razões pessoais e académicas que justificam a escolha do tema. Em seguida, a contextualização discute a importância do urbanismo contemporâneo e a influência da evolução tecnológica nas cidades modernas. Este capítulo também apresenta os objetivos da tese, qual o objetivo principal e os objetivos específicos, assim como a metodologia, detalhando a abordagem adotada para a investigação. A introdução conclui-se com uma visão geral da estrutura da dissertação, de modo a proporcionar ao leitor uma compreensão clara acerca da organização e do conteúdo que será explorado nos capítulos seguintes.

Capítulo 2 – Revisão da literatura

Neste capítulo, procede-se a uma análise da literatura relevante relativamente ao conceito de gémeo digital, traçando a sua evolução desde a definição e origem do conceito até às várias aplicações nas cidades, sendo explorados casos de estudo e exemplos internacionais. Serão detalhadas as tecnologias envolvidas, acompanhadas de uma análise crítica das vantagens e desafios gerais inerentes à implementação dos gémeos digitais, com o objetivo de proporcionar uma visão crítica sobre o tema.

Capítulo 3 – Análise contextual de Vila Nova de Gaia

O terceiro capítulo foca-se na análise contextual de Vila Nova de Gaia. Neste ponto, descreve-se a caracterização urbana da cidade que inclui os aspetos geográficos, demográficos e infraestruturais. Será avaliado o estado atual do planeamento urbano, inserido no âmbito da gestão urbana e dos principais desafios a enfrentar. A organização da divisão de urbanismo será também analisada, ao detalhar a estrutura funcional necessária para a implementação do gémeo digital. Além disso, serão identificados os recursos tecnológicos e humanos disponíveis, assim como o potencial

para a implementação do gêmeo digital, culminando com uma análise da sua viabilidade.

Capítulo 4 – Implementação tecnológica

Dedicado aos aspetos técnicos, este capítulo explora a infraestrutura necessária para sustentar a plataforma digital, incluindo os requisitos tecnológicos e de rede. Serão igualmente identificados os sistemas e aplicações específicas a serem utilizados, juntamente com as suas funcionalidades. As questões relacionadas com a segurança e privacidade de dados são discutidas, sendo propostas medidas para assegurar a proteção dos dados dos cidadãos e a conformidade com as normas vigentes.

Capítulo 5 – Outros aspetos relevantes

O quinto capítulo examina as estratégias de mobilização da comunidade, com o objetivo de promover ativamente a participação da população no processo do desenvolvimento urbano. Os aspetos legais e regulamentares são abordados, explorando as normas e regulamentos aplicáveis. As considerações ambientais e de sustentabilidade são igualmente avaliadas, com destaque no impacto ambiental da iniciativa.

Capítulo 6 – Vantagens e Desvantagens

Para oferecer uma visão equilibrada, este capítulo apresenta um estudo das vantagens concretas que este empreendimento pode trazer para a cidade, sobretudo na melhoria da eficiência dos processos urbanísticos e na promoção de uma governança mais transparente. Paralelamente, são identificadas as potenciais desvantagens e desafios, com o intuito de proporcionar uma visão equilibrada dos impactos da tecnologia.

Capítulo 7 – Caso Prático: Submissão e apreciação de Projetos online

Neste capítulo, apresenta-se um caso prático de uma maior sofisticação digital na submissão e apreciação de projetos, destacando como a implementação do gêmeo digital pode otimizar esses processos administrativos. Através de uma descrição detalhada do processo atual e da projeção de um cenário digital, são ilustradas as mudanças significativas que esta tecnologia pode proporcionar em termos de simplificação e eficiência operacionais.

Capítulo 8 – Conclusão

O capítulo conclusivo sintetiza os resultados alcançados ao longo da investigação, respondendo às questões inicialmente propostas e destacando as principais descobertas. Com base nos dados obtidos, são formuladas recomendações para futuras implementações e estudos, que oferecem uma reflexão final sobre o impacto da digitalização na gestão e desenvolvimento urbano.

A dissertação incorpora ainda um capítulo dedicado à listagem das fontes bibliográficas e materiais consultados. Nos Apêndices, apresenta-se material complementar à investigação principal, incluindo uma entrevista com a Engenheira Carla Pires, Chefe da Divisão de Sustentabilidade e Inovação na Gaiurb, que descreve os principais tópicos abordados com lugar à discussão e apresentação dos temas.

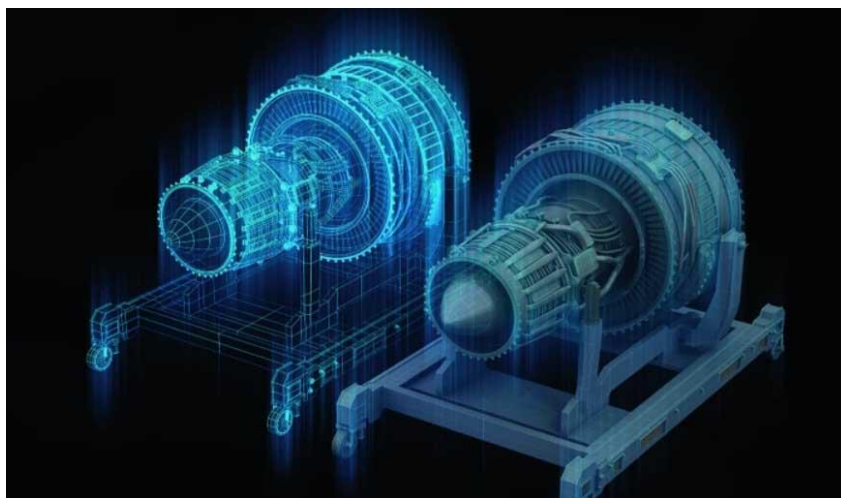
2. Revisão da literatura

2.1 Conceito de gémeo digital

O conceito de gémeo digital surgiu como uma resposta à crescente necessidade de monitorização, simulação e otimização dos processos em diversos setores como a indústria, a saúde, o transporte e, mais recentemente, o urbanismo. Um gémeo digital pode ser descrito como uma representação virtual precisa e dinâmica de um objeto, sistema ou processo físico, que é continuamente atualizada com dados provenientes do mundo real através de sensores, da Internet das Coisas (IoT) e de outras tecnologias de informação.

A origem do conceito remonta à NASA, onde foi inicialmente utilizado para criar modelos virtuais de naves espaciais, com o objetivo de simular e prever o comportamento em diferentes cenários adversos. Uma abordagem que permitiu monitorizar e otimizar o desempenho das naves ao antecipar e resolver os problemas antes que estes se manifestassem no mundo físico. O sucesso desta aplicação inicial impulsionou a adaptação do conceito para outros domínios, à medida que a tecnologia evoluiu e as vantagens da tecnologia se tornaram progressivamente mais evidentes.

Figura 1 – Gémeo digital de um motor: uma tecnologia que permite simular condições extremas antes da implementação no mundo físico.

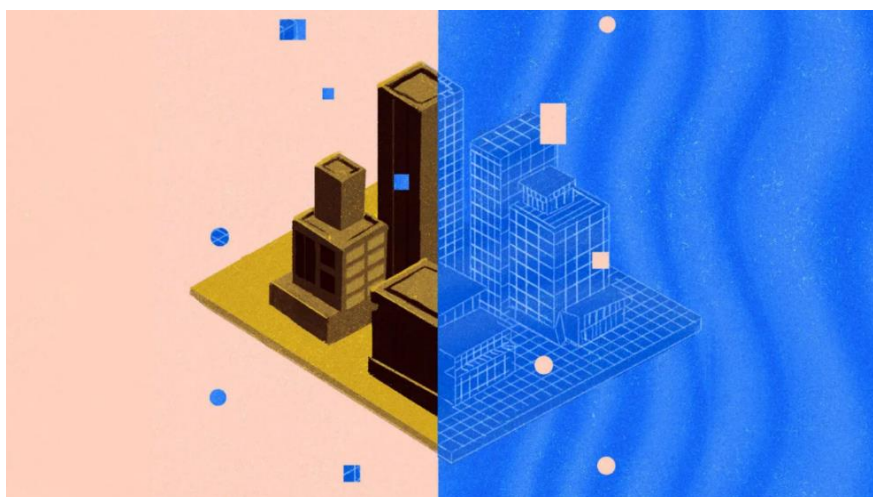


Fonte: <https://www.nature.com/articles/s43588-024-00617-4>

“Welcome to the mirror world”

Assim se intitula o artigo da revista britânica *The Economist*, que explora o impacto crescente dos *digital twins* no mundo contemporâneo. A tecnologia, que inicialmente consistia em modelos básicos de objetos e sistemas físicos, evoluiu significativamente com a integração da inteligência artificial, transformando-se numa ferramenta poderosa para simular e otimizar atividades no mundo real. O artigo sublinha que a implementação generalizada desta tecnologia é iminente, prometendo trazer benefícios substanciais para a sociedade.

Figura 2 – O ambiente físico a ser espelhado num mundo digital.



Fonte: <https://www.economist.com/leaders/2024/08/29/digital-twins-are-fast-becoming-part-of-everyday-life>

Definição de Gémeo Digital

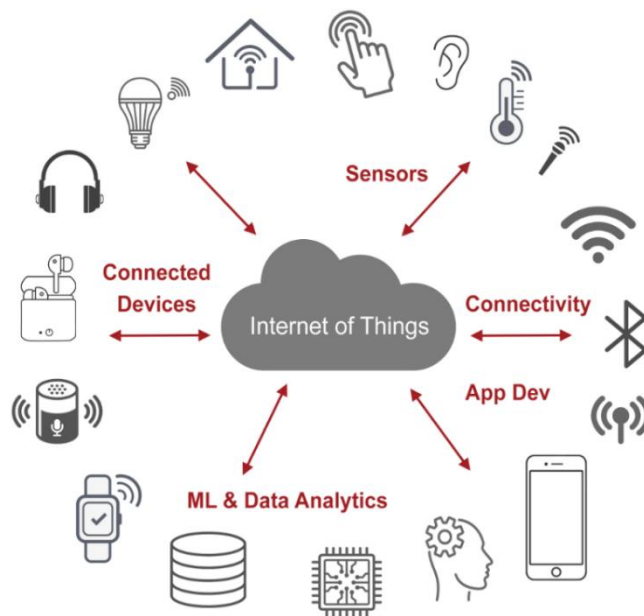
Um gémeo digital é constituído por vários componentes interconectados, que atuam em conjunto para criar uma representação virtual precisa e dinâmica de um objeto, sistema ou processo físico. A sua estrutura, de natureza complexa, integra múltiplos elementos que operam em sinergia para garantir o fluxo contínuo de informação entre o mundo físico e o virtual.

Sensores e Dispositivos Conectados

A base de um gêmeo digital reside nos sensores físicos e dispositivos conectados que, estrategicamente distribuídos, recolhem dados em tempo real. Estes sensores podem monitorizar uma vasta gama de parâmetros, como a temperatura, humidade, tráfego, consumo energético, qualidade do ar, entre outros. No contexto urbano, os sensores de tráfego, as redes de energia e os sistemas de gestão de resíduos, por exemplo, capturam informações essenciais sobre o comportamento da cidade.

No caso de um edifício inteligente, sensores instalados em pontos críticos para a medição do consumo de energia e água transmitem continuamente dados para o gêmeo digital, possibilitando uma análise em tempo real do desempenho do edifício e a identificação de oportunidades para melhorar a eficiência energética.

Figura 3 – A Internet das Coisas: Um ecossistema de dispositivos conectados, sensores e redes que interagem para transformar dados em decisões inteligentes.



Fonte: <https://medium.com/@teja.ravi474/sensors-in-iot-the-backbone-of-connected-devices-499fbc35a6b6>

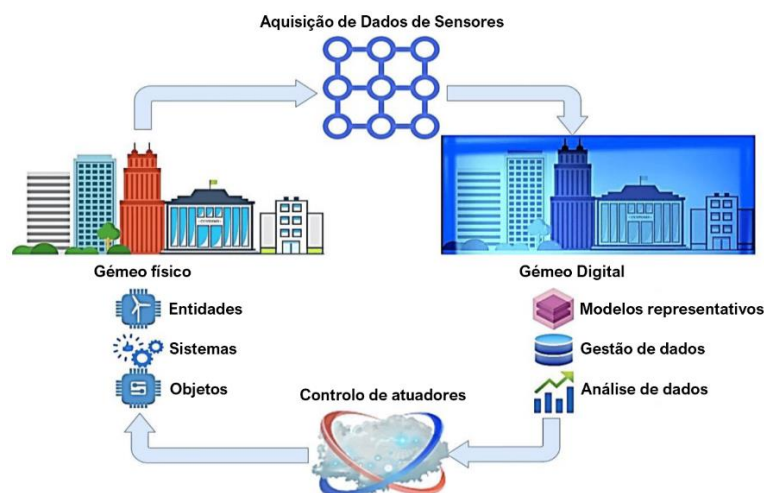
Plataformas de Processamento de Dados

Os dados recolhidos pelos sensores são enviados para plataformas de processamento de dados, onde são armazenados e analisados em larga escala. É neste ponto que as tecnologias de Big Data e Machine Learning (ML) desempenham um papel crucial, ao permitir o processamento de vastas quantidades de informação e a identificação de padrões e tendências que, de outro modo, seriam difíceis de detetar. Estas plataformas têm a responsabilidade de converter os dados brutos em informação útil para a tomada de decisões.

No contexto de uma *smart city*, os dados do trânsito recolhidos pelos sensores são analisados por algoritmos de ML capazes de prever congestionamentos e sugerir alternativas para melhorar o fluxo de tráfego. A cidade pode então ajustar, de forma automática, a sincronização dos semáforos, com base nas previsões geradas pelo gémeo digital.

Figura 4 – Imagem ilustrativa do ciclo de funcionamento de um gémeo digital:

Aquisição de Dados: Sensores no mundo físico capturam informações em tempo real (como tráfego ou consumo de energia). **Gémeo Físico:** Representa o ambiente real com entidades, sistemas e objetos monitorizados. **Gémeo Digital:** O modelo virtual processa os dados com análise e gestão, criando simulações e previsões. **Controlo de Atuadores:** O gémeo digital envia os comandos de volta para o mundo físico, ajustando elementos reais como iluminação, tráfego, ou sistemas de climatização.



Fonte: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7128>

Plataformas de Visualização

A interação com o gémeo digital é frequentemente facilitada através de plataformas de Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR). Estas tecnologias permitem aos utilizadores visualizar e interagir com o gémeo digital num formato mais intuitivo, e imersivo, promovendo uma melhor comunicação entre todas as partes envolvidas, sejam engenheiros, gestores urbanos ou decisores políticos.

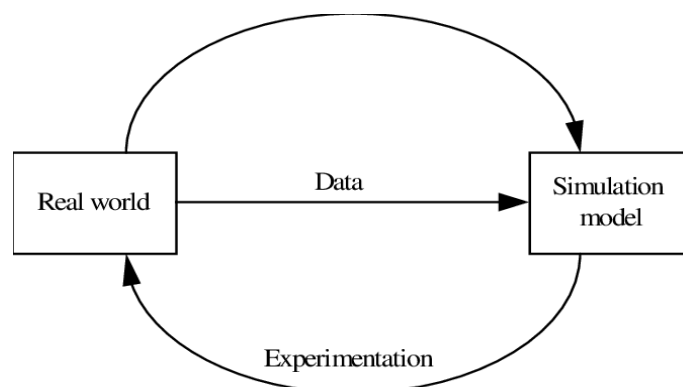
No contexto do planeamento urbano, a utilização de VR possibilita a simulação e visualização do impacto de uma nova infraestrutura rodoviária numa área urbana, permitindo uma avaliação mais informada das implicações antes da implementação no terreno.

Simulação e Modelagem Preditiva

Uma das capacidades fundamentais dos gémeos digitais é a aptidão para a simulação e modelagem preditivas. Graças à integração de dados em tempo real e à capacidade de processar vastas quantidades de informação, os gémeos digitais podem simular cenários futuros e prever o impacto de diversas intervenções. Isto permite que sejam testadas diferentes políticas ou infraestruturas antes da sua implementação física, reduzindo os riscos e otimizando a alocação de recursos.

Por exemplo, numa cidade costeira, um gémeo digital pode simular o impacto da subida do nível do mar e prever quais as áreas mais suscetíveis a serem afetadas, permitindo um planeamento mais eficiente das infraestruturas de proteção costeira.

Figura 5 – Do mundo real ao digital: o fluxo de dados cria simulações precisas, cujas experiências voltam a influenciar o mundo físico.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/The-Simulation-Modelling-Process-Simple-Outline_fig1_3834396

Feedback e Monitorização Contínua

Uma das grandes vantagens dos gémeos digitais reside na sua capacidade de fornecer feedback contínuo. Através da informação recolhida em tempo real, enviada pelos sensores e processada pelas plataformas de dados, o gémeo digital é atualizado de forma constante. Isto significa que, quando ocorre uma alteração no sistema físico (como, por exemplo, um aumento repentino no consumo energético), o gémeo digital reflete de imediato essa mudança, permitindo uma resposta rápida e informada.

No caso de uma infraestrutura de transportes, por exemplo, se os sensores detetarem um aumento inesperado de passageiros numa estação de metropolitano, o gémeo digital pode ajudar a redirecionar recursos, como aumentar a frequência dos comboios ou redistribuir os serviços de manutenção.

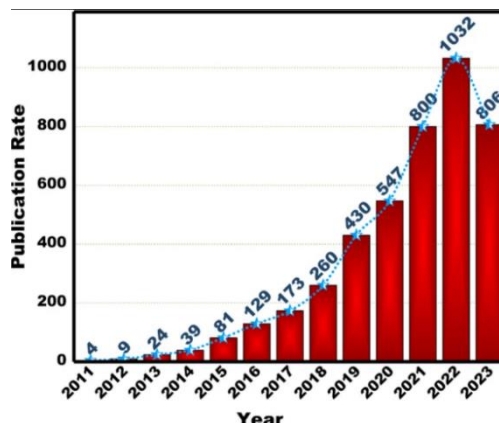
Uma representação digital que não se limita a espelhar o estado físico do ambiente urbano mas permite também a simulação de cenários alternativos, como a análise prévia do impacto de intervenções e políticas urbanas antes da sua implementação. A utilização de tecnologias de ponta, como a inteligência artificial, e a análise de dados em grande escala permite ainda antecipar tendências, identificar precocemente potenciais problemas e constitui uma ferramenta poderosa para otimizar a gestão urbana. Conforme destacado por Tao et al. (2019), "os gémeos digitais, na indústria,

demonstram um potencial significativo para melhorar a eficiência operacional e a gestão de recursos, através da integração de tecnologias avançadas [...] permitindo uma análise detalhada e uma monitorização contínua dos sistemas."

A evolução dos gémeos digitais, no contexto do urbanismo, está intimamente ligada ao desenvolvimento de tecnologias como a IoT, Big Data, ML, AR, VR. A IoT fornece a infraestrutura necessária para a recolha dos dados em tempo real, enquanto a Big Data e a ML possibilitam a análise e interpretação dos dados em larga escala. As tecnologias de AR e VR facilitam a visualização e interação com o gémeo digital num formato mais imersivo, o que permite uma melhor comunicação dos dados entre todas as partes envolvidas. Segundo Grieves e Vickers (2017), "o gémeo digital é uma tecnologia emergente que desempenha um papel crucial na mitigação de comportamentos imprevisíveis e indesejáveis em sistemas complexos, através da sua capacidade de simulação contínua e análise preditiva."

A implementação dos gémeos digitais promete transformar a gestão urbana, com ênfase na eficiência e na funcionalidade dos sistemas. Os modelos virtuais avançados oferecem a possibilidade de uma governança urbana mais transparente e participativa. Além disso, a capacidade de simular diferentes cenários e prever os impactos das intervenções urbanas contribui para um planeamento estratégico. Uma abordagem que poderá, inclusivamente, contribuir para colmatar uma das grandes lacunas do urbanismo em Portugal: a ausência de planeamento a longo prazo.

Gráfico 1 – O conceito de gêmeo digital tem vindo a evoluir, assumindo uma crescente importância nos últimos anos. Este aumento do interesse pode ser observado através da evolução da taxa de publicações científicas sobre os gêmeos digitais e as cidades inteligentes, como ilustrado no gráfico seguinte, que mostra um crescimento exponencial desde 2011 até ao presente.



Fonte: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-024-10781-8>

Em síntese, o conceito de gêmeo digital constitui uma evolução significativa na forma como pensamos, desenvolvemos e gerimos o espaço urbano. Através da integração de tecnologias sofisticadas e da utilização inteligente da informação, esta tecnologia surge como uma ferramenta poderosa para melhorar a qualidade de vida nas cidades.

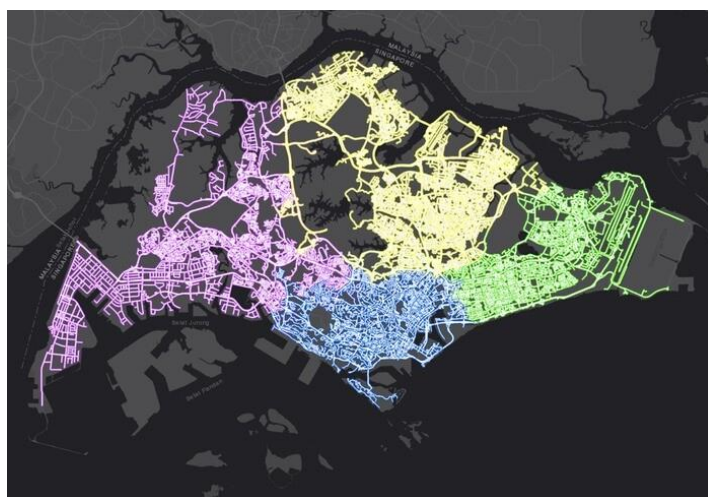
2.2 Aplicações dos gêmeos digitais

É possível verificar que a implementação de gêmeos digitais, no contexto das cidades, se tem mostrado uma ferramenta poderosa para um desenvolvimento urbano mais sustentável e eficiente. Embora a sua aplicação ainda não seja generalizada, várias cidades a nível global têm vindo a adotar esta tecnologia. Este capítulo examina alguns casos de estudo e exemplos internacionais que ilustram tanto o potencial como a versatilidade das aplicações dos gêmeos digitais no contexto urbano.

Singapura, *Virtual Singapore*

Um exemplo notável é o de Singapura, que desenvolveu um gêmeo digital designado por Virtual Singapore. Trata-se de um projeto ambicioso, cujo objetivo é criar uma réplica virtual da cidade ao integrar dados de várias fontes, incluindo sensores de tráfego, redes de energia e sistemas de gestão de resíduos. Com esta informação, o sistema é capaz de “simular diferentes cenários urbanos, como a gestão de emergências, planeamento da infraestrutura e a otimização de tráfego” (Batty, 2018).

Figura 6 – Virtual Singapore: Gêmeo digital do sistema rodoviário



Fonte: <https://www.geoweeeknews.com/news/singapore-land-authority-digital-twin-bentley-systems-3d-mapping>

Helsínquia, *Smart Kalasatama*

Outro exemplo relevante pode ser observado em Helsínquia, na Finlândia, onde foi desenvolvido um gêmeo digital no âmbito do projeto Smart Kalasatama, um novo distrito concebido como laboratório de inovação urbana. O gêmeo digital integra os dados de sensores IoT para monitorizar o consumo de energia, a gestão de resíduos e auxiliar a mobilidade urbana. O projeto tem permitido testar a implementação de soluções de eficiência energética e gestão sustentável dos recursos.

Figura 7 – A área de Kalasatama, em Helsínquia, é uma plataforma de inovação experimental para co-criar infraestruturas e serviços urbanos inteligentes. Como parte do projeto bloTope, apoiado pela UE, Kalasatama é também um local para realizar diversos testes e pilotos de Internet das Coisas, relacionados com contadores inteligentes, estacionamento inteligente e veículos elétricos partilhados, entre outros.

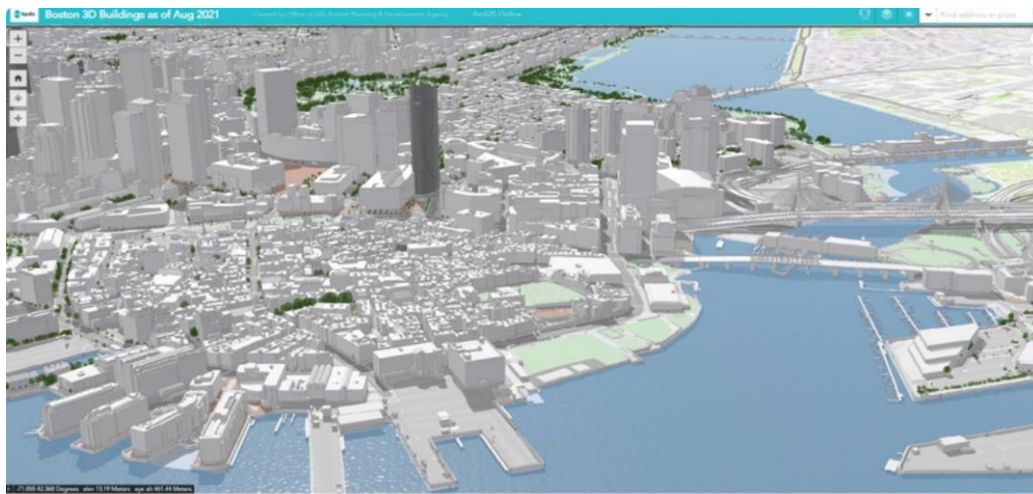


Fonte: <https://fiksukalasatama.fi/en/smart-city/internet-of-things-iot-trials-in-smart-kalasatama/>

Boston, BPDA

Nos Estados Unidos, a cidade de Boston tem vindo a transformar a gestão das infraestruturas através da implementação de um gémeo digital. A Boston Planning and Development Agency (BPDA) criou um modelo 3D interativo da cidade que permite a visualização e análise detalhada dos projetos de renovação urbana em fase de planeamento e construção. O sistema é utilizado para simular o impacto dos novos desenvolvimentos na infraestrutura existente, promovendo uma coordenação mais eficaz entre os diferentes departamentos, o que conforma uma das bases de um crescimento urbano bem planeado.

Figura 8 – The Boston Planning and Development Agency: 3D Smart Model

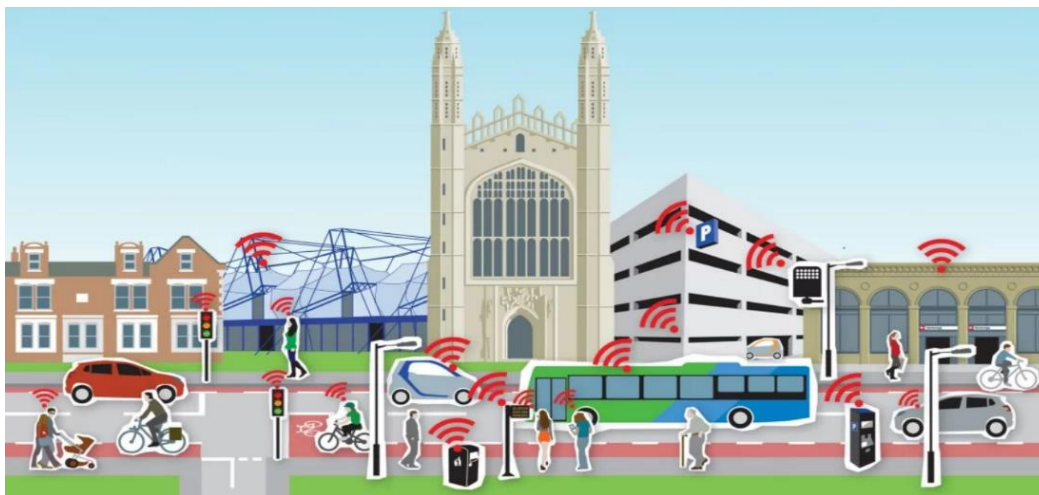


Fonte: <https://ampo.org/are-digital-twins-the-future-of-urban-planning/>

Cambridge, *Smart Cambridge*

No Reino Unido, a cidade de Cambridge, conhecida pelo seu edificado com valor arquitetónico, também tem explorado o uso de um gémeo digital para a gestão e preservação do património histórico. O projeto Smart Cambridge integra os dados de sensores estrategicamente espalhados pela cidade que, em conjugação com o uso da realidade aumentada, permitem monitorizar o estado dos edifícios históricos e prever as necessidades de manutenção em tempo real. Este exemplo de uma aplicação específica, ligada ao ramo da construção e urbanismo, demonstra como a tecnologia pode ser adaptada a diferentes contextos urbanos, neste caso contribuindo para a preservação do património cultural, ao mesmo tempo que promove a inovação tecnológica.

Figura 9 – Smart Cambridge está a explorar como os dados, a tecnologia inovadora e uma melhor conectividade podem ser utilizados para transformar a forma como as pessoas vivem, trabalham e viajam.



Fonte: <https://www.cambridgefilmworks.com/smart-cambridge-2/>

Estes exemplos internacionais evidenciam como os gémeos digitais estão a impulsionar positivamente a gestão urbana em diferentes partes do mundo. Cada cidade tem adaptado a tecnologia às suas necessidades específicas, abrangendo áreas tão distintas como a eficiência energética, a gestão dos resíduos, a preservação do património ou o planeamento de novas infraestruturas.

No contexto de Vila Nova de Gaia, a implementação de um gémeo digital pode beneficiar das experiências a nível internacional, adoptando as melhores práticas e tecnologias adequadas às especificidades locais. A criação de uma réplica virtual da cidade permitirá monitorizar e otimizar os processos urbanísticos, promover uma governança mais transparente e fomentar o envolvimento da comunidade local no desenvolvimento urbano. Com uma abordagem estratégica e bem planeada, Vila Nova de Gaia pode tornar-se um exemplo de inovação tecnológica a nível nacional, seguindo os passos das cidades líderes no uso de gémeos digitais e, assim, abrir o caminho para um urbanismo português mais digital e informado.

2.3 Tecnologías involucradas

A implementação de um projeto com a envergadura de um gêmeo digital requer a utilização de várias tecnologias de ponta que operam em sinergia para criar uma réplica virtual precisa do ambiente urbano. Entre as tecnologias fundamentais que sustentam esta transformação digital, destacam-se a Internet das Coisas (IoT), o Big Data, o Machine Learning, a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Aumentada (AR).

Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel central na recolha dos dados em tempo real. Sensores estrategicamente distribuídos por toda a cidade, monitorizam diversos parâmetros como o volume de tráfego, a qualidade do ar, o consumo de energia e o estado das infraestruturas. Os sensores estão conectados através de redes de comunicação de alta velocidade que estabelecem uma transmissão contínua dos dados para os sistemas centralizados de armazenamento e análise. Conforme descrito por Guimarães e Simão, "a IoT é essencial para a recolha dos dados em tempo real, possibilitando uma visão abrangente e atualizada das operações urbanas" (GUIMARÃES e SIMÃO, 2019, p. 45).

Figura 10 – Na IoT, cada dispositivo está interligado, desde o carro à lâmpada, permitindo uma gestão eficiente e integrada.



Fonte: <https://ipelab.ufg.br/n/155611-o-que-e-a-internet-das-coisas>

Big Data

A Big Data desempenha uma função crítica na gestão e análise dos grandes volumes de dados que são gerados pela IoT. A capacidade de armazenar e processar vastas quantidades de informação permite a identificação de padrões, tendências e anomalias que, de outro modo, seriam impossíveis de detetar. O recurso à Big Data facilita uma tomada de decisão informada, baseada em dados concretos e atualizados que, num processo menos tecnológico e tradicional, são mais difíceis de reunir e menos precisos. Uma abordagem que melhora a eficiência dos processos urbanísticos e a capacidade de resposta a eventos imprevistos.

Machine Learning

A utilização do Machine Learning (ML), uma subcategoria da inteligência artificial, transforma os dados reunidos em informações práticas e úteis. Através de algoritmos, os dados são continuamente analisados num ciclo de aprendizagem que melhora as previsões ao longo do tempo. Os algoritmos, enquanto sequências de instruções ou regras lógicas que um sistema ou programa de computador segue, permitem a resolução de problemas ou a execução de tarefas de forma automática e eficiente. Na gestão urbana, por exemplo, os algoritmos de ML podem prever os padrões do tráfego, otimizar as rotas dos transportes públicos, identificar áreas de risco em termos de manutenção das infraestruturas e até prever o impacto das novas construções na cidade. A capacidade de aprendizagem e adaptação às mudanças repentinas, em tempo real, torna o ML uma ferramenta poderosa no apoio à gestão urbana.

Realidade Aumentada e Realidade Virtual

A Realidade Aumentada (AR) e a Realidade Virtual (VR) introduzem novas possibilidades de visualização e interação com o gêmeo digital. A AR permite sobrepor informações digitais ao ambiente real, potencia a visualização dos dados e a tomada

de decisões in loco. Por exemplo, os técnicos de manutenção podem utilizar a AR para acessar a informações sobre as infraestruturas subterrâneas, como as redes de águas e gás, sem a necessidade de recorrer a escavações. A VR, por outro lado, possibilita a criação de ambientes virtuais imersivos que replicam a cidade real. Trata-se de uma tecnologia particularmente útil para a realização de simulações e programas de formação, o que permite aos urbanistas explorar os diferentes cenários possíveis ao calcular as consequências sem riscos reais. A VR é igualmente utilizada para promover o envolvimento da comunidade, permitindo que os cidadãos visualizem os projetos em desenvolvimento e participem no processo de planeamento de uma forma mais intuitiva e interativa.

Figura 11 – A realidade virtual e aumentada estão a tornar-se, hoje em dia, instrumentos participativos no planeamento urbano.



Fonte: <https://industrywired.com/how-ar-vr-and-mixed-reality-are-redefining-urban-development-and-planning/>

A combinação destas tecnologias estabelece o ecossistema digital robusto de suporte a uma eficaz implementação do gémeo digital. Enquanto a IoT recolhe dados em tempo real, a Big Data armazena e processa essas informações, o ML interpreta os dados e oferece análises detalhadas, e a AR e VR fornecem novas formas de visualização e interação. Em conjunto, estas tecnologias não só melhoram a eficiência e a funcionalidade dos processos, como também promovem uma governança mais

transparente e participativa, ao envolver todas as partes no desenvolvimento sustentável da cidade.

Resumindo, a integração de tecnologias como a IoT, Big Data, Machine Learning, AR e VR, na conformação de um gêmeo digital, representa um avanço substancial na forma como as cidades são geridas e desenvolvidas. A implementação de um gêmeo digital em Vila Nova de Gaia, que utilize estas tecnologias, pode servir como um modelo para outras cidades, na demonstração do potencial transformador da inovação tecnológica no urbanismo.

2.4 Oportunidades e Desafios

A implementação de gémeos digitais, no âmbito dos processos urbanísticos, oferece uma série de benefícios que podem transformar a gestão e o desenvolvimento das cidades. Contudo, apresenta também desafios significativos que devem ser devidamente abordados para assegurar o sucesso e a sustentabilidade do projeto. A análise ponderada das oportunidades e desafios é fundamental para compreender o potencial impacto da implementação desta tecnologia.

Eficiência urbana

Conforme abordado nos capítulos anteriores, uma das principais oportunidades reside no vasto potencial de melhoria da eficiência dos processos. Ao integrar os dados de diversas fontes, em tempo real, os gémeos digitais permitem uma monitorização contínua e precisa do ambiente urbano. A capacidade de visualização e análise facilita uma rápida e informada tomada de decisão, o que reduz o tempo necessário para a execução dos projetos urbanos. Além disso, a possibilidade de simular diferentes cenários urbanos permite a previsão e mitigação de eventuais problemas antes que estes se manifestem, o que melhora a alocação dos recursos e a resiliência geral da cidade.

Simplificação dos processos burocráticos

A simplificação dos processos burocráticos constitui outra vantagem significativa. A digitalização dos dados e a automação das tarefas rotineiras reduzem a necessidade de intervenção manual, reduzindo os erros, o que promove uma maior transparência. A integração de tecnologias como a IA e o ML permite automatizar a análise de grandes volumes de dados, permitindo a identificação de padrões e a elaboração de soluções preditivas. Uma automação que acelera os processos administrativos e melhora a qualidade das decisões tomadas.

Funcionalidade e a sustentabilidade urbana

A funcionalidade e a sustentabilidade urbana são igualmente reforçadas. Ao proporcionar uma visão integrada dos sistemas urbanos que operam em simultâneo, os gémeos digitais ajudam a coordenar e otimizar os serviços essenciais como os transportes, a energia, a água e a gestão dos resíduos. A capacidade de coordenação melhora a eficiência operacional e contribui para a redução do impacto ambiental. O funcionamento em tempo real, com a possibilidade de ajustes que podem incluir um certo grau de automação, coloca este sistema em destaque na gestão eficiente dos recursos. No entanto, a implementação de um projeto desta envergadura enfrenta também desafios consideráveis.

Segurança e privacidade dos dados

Um dos principais reside na questão da segurança e privacidade dos dados. A recolha e armazenamento de grandes volumes de informação, muitas vezes com diferentes níveis de sensibilidade, requerem medidas de segurança robustas para que haja proteção contra ciberataques e salvaguardar a privacidade dos cidadãos. A

conformidade com os regulamentos de proteção de dados, como o GDPR na Europa, é imprescindível para construir uma imagem de confiança e evitar repercussões legais.

Desenvolvimento da infraestrutura tecnológica

A par disso, impõe-se o desenvolvimento de uma infraestrutura tecnológica competente e de garantir recursos humanos devidamente qualificados. A criação e manutenção de um gémeo digital exige investimentos significativos em infraestrutura de IoT, incluindo sensores, redes de comunicação e plataformas de análise de dados.

Capacitação técnica

Por outro lado, impõe-se a necessidade de capacitar os técnicos, e os próprios gestores urbanos (arquitetos, urbanistas, administradores municipais, entre outros), de modo a assegurar o uso eficiente destas soluções tecnológicas, o que pode implicar a implementação de programas de formação contínua e o recrutamento de especialistas.

Resistência à mudança

A resistência à mudança constitui outro desafio significativo. A implementação de novas tecnologias pode enfrentar a oposição de partes interessadas que estão habituadas aos métodos tradicionais de gestão urbana, ou outros interesses (económicos, políticos, sindicais, laborais, etc.). A integração dos gémeos digitais requer uma mudança cultural e organizacional, na qual a adaptação a novas formas de trabalho e a incorporação de tecnologias inovadoras são essenciais. Uma comunicação eficaz e o envolvimento ativo de todos os atores desde o início do processo são cruciais para superar um certo nível expectável de resistência.

Custos de implementação

Por último, os custos associados à implementação podem revelar-se substanciais. Embora as vantagens a longo prazo possam justificar o investimento inicial, a obtenção de financiamento pode constituir um obstáculo, sobretudo num contexto como o português, no qual os recursos são frequentemente limitados. Torna-se, assim, importante realizar análises de custo-benefício detalhadas e explorar quais as fontes de financiamento alternativas, tais como as parcerias público-privadas, de modo a viabilizar a implementação.

Em conclusão, os gémeos digitais oferecem uma oportunidade para transformar a gestão urbana. Contudo, é crucial abordar os desafios de segurança, o desenvolvimento de infraestruturas, a qualificação de recursos humanos, a resistência à mudança e os custos envolvidos, de forma a assegurar o sucesso e a sustentabilidade desta iniciativa. A experiência de Vila Nova de Gaia pode servir como *case-study* para outras cidades que procuram adotar estas tecnologias.

3. Análise contextual de Vila Nova de Gaia

3.1 Caracterização urbana de Vila Nova de Gaia

Vila Nova de Gaia é uma cidade portuguesa situada na margem sul do rio Douro, pertencente à Área Metropolitana do Porto, na região Norte de Portugal.

Geograficamente, Gaia abrange uma área de cerca de 168,46 km² e é conhecida pela topografia variada, que inclui uma margem de rio e uma margem de mar. A localização estratégica, ao longo do Douro, proporciona uma ligação direta com o Porto, o que facilita o desenvolvimento urbano e económico da região.

Figura 12 – O rio Douro no encontro entre o Porto (esquerda) e Gaia (direita).



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Vila_Nova_de_Gaia

Demograficamente, é a terceira maior cidade de Portugal em termos de população, com cerca de 302.295 habitantes, de acordo com os últimos censos. A população é caracterizada pela diversidade, com uma mistura de habitantes históricos e novos residentes atraídos pelas oportunidades económicas e pela qualidade de vida que a cidade, e o país, oferecem. O crescimento demográfico tem sido acompanhado por uma expansão urbana considerável, que tem sido complementada pela construção de novas infraestruturas e pela renovação de zonas históricas.

A infraestrutura é diversificada e, ainda que apresente algumas carências, tem suportado tanto as necessidades dos residentes como as exigências de um crescimento contínuo. A cidade possui uma rede de transportes bem desenvolvida, que inclui ligações ferroviárias e rodoviárias que facilitam a mobilidade dentro e fora

da região. A rede de metropolitano, que liga Gaia ao Porto e a outras áreas metropolitanas, está atualmente em expansão e desempenha um papel crucial na redução do tráfego rodoviário e na promoção de um transporte público eficiente.

Para além das infraestruturas de transporte, Vila Nova de Gaia é servida por uma rede extensa de serviços públicos e privados. A cidade possui um sistema de saúde abrangente, com hospitais, clínicas e centros de saúde bem distribuídos. A educação é igualmente bem representada, com várias escolas, institutos e universidades que acolhem uma expressiva população estudante. A presença de instituições de ensino superior contribui para a formação de uma força de trabalho qualificada, o que é importante para o desenvolvimento económico e tecnológico da região.

O setor económico é diversificado, com a presença de indústrias tradicionais, como a ligada aos vinhos, que é complementada por outras áreas emergentes, como o turismo e a tecnologia. As caves de vinho do Porto, localizadas na margem do Douro, são um dos principais pontos turísticos da cidade e atraem visitantes de todo o mundo. O turismo tem impulsionado o desenvolvimento das infraestruturas de apoio, como os hotéis, restaurantes e outros serviços de lazer, que contribuem significativamente para a economia local.

Em termos de desenvolvimento urbano, Vila Nova de Gaia tem investido em projetos de renovação urbana e sustentabilidade, sentindo-se um compromisso com a criação de espaços verdes e a promoção de práticas ambientais responsáveis. Parques urbanos, ciclovias e zonas pedonais são alguns exemplos de iniciativas que procuram melhorar a qualidade de vida dos residentes e promover um ambiente urbano mais saudável.

O planeamento urbano da cidade parece focar-se na modernização das infraestruturas e na implementação de novas tecnologias, que servem de auxílio à gestão urbana, sendo reconhecida a importância de integrar soluções inteligentes para otimizar os serviços urbanos e aumentar a eficiência. Esta estratégia é fundamental para abordar os desafios associados ao crescimento urbano e estabelecer as bases para que Gaia continue a desenvolver-se de forma sustentável.

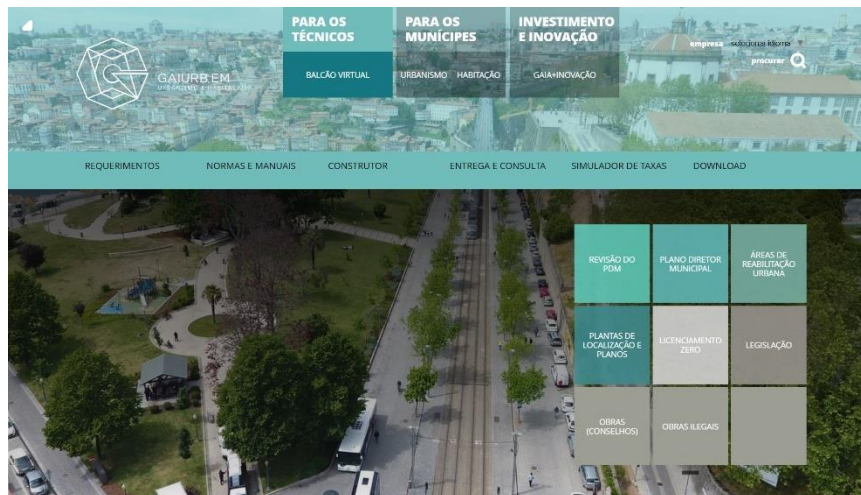
3.2 O planeamento urbano na atualidade

O planeamento urbano de Vila Nova de Gaia tem evoluído de forma significativa ao longo dos anos, refletindo tanto a necessidade de suportar uma população em crescimento como a ambição de promover um desenvolvimento sustentável e integrado. Atualmente, o planeamento e gestão urbanas são caracterizados por uma abordagem que combina a preservação do património histórico com a implementação de estratégias adequadas para enfrentar os desafios atuais.

A cidade está comprometida com um modelo de desenvolvimento que equilibra o crescimento económico com a sustentabilidade ambiental. O Plano Diretor Municipal (PDM) serve como guia estratégico para o ordenamento do território, estabelecendo as diretrizes para o uso do solo, a proteção ambiental e o desenvolvimento das infraestruturas. O PDM é revisto periodicamente para refletir as mudanças nas dinâmicas urbanas e as necessidades da população.

A digitalização dos processos urbanísticos, conforme destacado por Carla Pires, Chefe da Divisão de Sustentabilidade e Inovação da Gaiurb, numa entrevista realizada para este estudo (ver Anexo), tem desempenhado um papel determinante na eficiência administrativa da Gaiurb. A implementação de ferramentas como o Balcão Virtual e o NoPaper permitiu a submissão e gestão digital de documentos, reduzindo de forma substancial a dependência do papel. Esta mudança não só reduz os custos operacionais e os tempos de resposta, mas também promove uma administração mais sustentável e acessível para cidadãos e profissionais envolvidos nos processos urbanísticos.

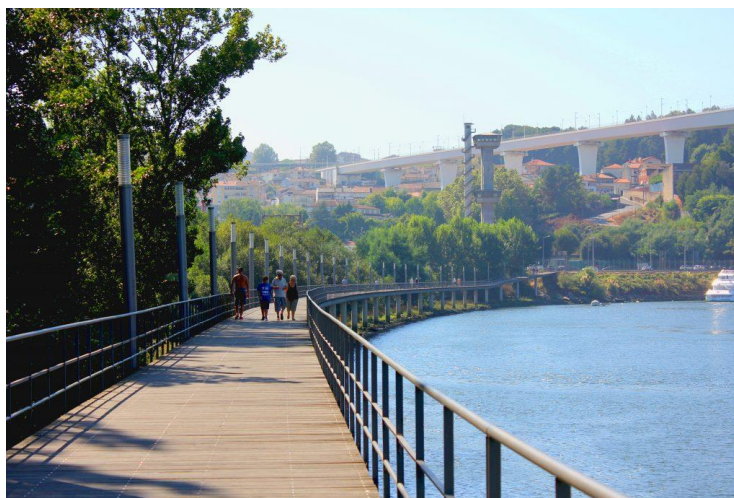
Figura 13 – Interface do Balcão Virtual da Gaiurb, plataforma digital que possibilita o acesso a serviços de urbanismo e habitação em Vila Nova de Gaia. Através desta ferramenta, técnicos e cidadãos podem consultar e submeter documentação, aceder ao Plano Diretor Municipal, rever áreas de reabilitação urbana, entre outras funcionalidades que promovem a eficiência e transparência nos processos administrativos.



Fonte: <https://www.ifodouro.pt/freguesia/1-natureza-e-sustentabilidade/0>

Um dos principais focos do planeamento em Gaia é a revitalização das zonas ribeirinhas. Historicamente ligadas à produção e armazenamento do vinho do Porto, estas áreas têm sido alvo de projetos de requalificação que visam melhorar a qualidade de vida dos residentes e atrair o investimento privado. A criação de espaços públicos, parques e zonas pedonais, ao longo do rio Douro, tem transformado estas áreas em locais vibrantes para o lazer e turismo, procurando manter, simultaneamente, o respeito pela herança cultural da cidade embora, em alguns casos, essa preservação possa ser considerada questionável, na opinião do autor.

Figura 14 – Requalificação da frente ribeirinha em Oliveira do Douro, desde a ponte D. Maria Pia até aos limites do concelho, em Lever.



Fonte: <https://www.jfodouro.pt/freguesia/1-natureza-e-sustentabilidade/0>

Além das infraestruturas verdes acima mencionadas, a gestão da rede de transportes é um dos eixos centrais. A urbe tem investido na melhoria da rede de transportes públicos, com particular ênfase na expansão do sistema de metropolitano (Metro do Porto) que interliga Gaia à Área metropolitana do Porto. Um investimento que facilita a mobilidade dos residentes, mas também contribui para a redução do tráfego rodoviário e das emissões de carbono. Além disso, há um esforço contínuo para promover a utilização dos modos de transporte suave e sustentável, como as bicicletas e os veículos elétricos, através da expansão das ciclovias e das estações de carregamento de carros elétricos.

Figura 15 – A nova ponte da linha Rubi do Metro do Porto, atualmente em construção, que ligará Vila Nova de Gaia ao Porto. Esta linha faz parte do projeto de expansão da rede de metro, melhorando a mobilidade entre as duas cidades e contribuindo para a sustentabilidade e eficiência do sistema de transportes na Área Metropolitana do Porto.



Fonte: <https://linharubi.metrodoporto.pt/ponte-d-antonia-ferreira/>

A gestão dos recursos naturais e a sustentabilidade ambiental têm sido áreas de atenção, consideradas importantes para o desenvolvimento equilibrado da cidade. Nesse sentido, projetos de eficiência energética, gestão de resíduos e conservação da biodiversidade têm sido implementados de forma integrada, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental. O uso da tecnologia, como sensores de IoT — como os aplicados já em Vila Nova de Gaia para monitorizar o estacionamento reservado a pessoas com mobilidade reduzida — e sistemas de monitorização ambiental, permite uma gestão mais eficaz dos recursos e uma resposta rápida a ocorrências imprevistas.

Figura 16 – O parque das Dunas da Aguda, que procura sensibilizar a população para a importância da conservação do ecossistema dunar.



Fonte: <https://www.cm-gaia.pt/pt/cidade/ambiente/parques-de-gaia/dunas-da-aguda/>

Em termos de habitação, Gaia enfrenta o desafio de fornecer soluções habitacionais acessíveis para uma população diversificada e muitas vezes em situação de vulnerabilidade. A cidade está a desenvolver projetos de habitação social e políticas de incentivo à construção de habitação a custos controlados, com esforços direcionados a permitir que todos os cidadãos tenham acesso a habitação de qualidade, assim promovendo a coesão social.

A digitalização dos processos urbanísticos é uma área em que a cidade continua a fazer progressos significativos. A implementação de sistemas de gestão digital permite uma maior eficiência nos processos administrativos, como para a aprovação de licenças e a monitorização de obras.

Apesar dos esforços, o planeamento urbano de Vila Nova de Gaia enfrenta desafios. A rápida urbanização exige uma coordenação eficaz entre os diferentes setores e níveis do governo para assegurar que o crescimento seja gerido de forma sustentável. A necessidade de equilibrar o desenvolvimento económico com a proteção ambiental e a preservação do património cultural continua a ser uma prioridade.

Em síntese, o estado atual do planeamento e da gestão urbana em Vila Nova de Gaia é caracterizado por uma abordagem integrada, que procura responder aos complexos e

exigentes desafios do crescimento urbano de uma forma sustentável e inclusiva. Embora a cidade esteja comprometida com a implementação de soluções que promovam a qualidade de vida e preservem o património cultural e natural, os problemas enfrentados continuam a exigir uma procura constante por novas respostas. Argumenta-se neste estudo, que a introdução de tecnologias emergentes, como os gémeos digitais, representa um importante avanço. No entanto, o caminho para uma gestão urbana verdadeiramente eficiente e eficaz continua em constante evolução, exigindo a adaptação contínua às novas realidades e desafios que surgem no ambiente urbano.

3.3 Organização da divisão de urbanismo

A implementação de um gémeo digital exige uma infraestrutura operacional robusta dentro da divisão de urbanismo, capaz de integrar as novas tecnologias e gerir de forma eficaz os dados e processos resultantes. A organização da estrutura deve ser concebida para apoiar eficazmente a recolha, análise e aplicação dos dados, assegurando uma base sólida para alcançar os objetivos e maximizar o potencial desta tecnologia.

Figura 17 – Sede da Gaiurb, Empresa Municipal de Urbanismo de Vila Nova de Gaia, responsável pela gestão e desenvolvimento urbanístico, bem como pela implementação de soluções tecnológicas e a modernização dos processos de planeamento urbano.



Fonte: https://www.gaiurb.pt/pages/651?news_id=239&news_list_88_page=2

A divisão de urbanismo deve ser composta por várias unidades interligadas, com cada uma a desempenhar as funções específicas necessárias para o sucesso do projeto, que incluem a gestão dos dados, tecnologias da informação, análise urbana, planeamento estratégico e comunicação.

A unidade de gestão de dados é fundamental para a implementação do gémeo digital. Esta equipa é responsável pela recolha, armazenamento e manutenção de todos os dados considerados relevantes. A utilização da Internet das Coisas (IoT) permitirá a recolha de dados em tempo real, através de sensores distribuídos pela cidade, o que permitirá monitorizar diversos parâmetros como o tráfego, a qualidade do ar, o consumo de energia e as condições das infraestruturas. A gestão eficiente dos dados desempenha um papel chave em assegurar que a informação seja precisa, atualizada e acessível para análise.

A unidade de tecnologias da informação (IT) desempenha um papel central na implementação e manutenção da infraestrutura tecnológica necessária ao suporte do gémeo digital. A unidade é responsável pela instalação e gestão do hardware e software, com o objetivo de garantir que todos os sistemas funcionem de forma integrada e segura. A IT deve também assegurar a cibersegurança do sistema de modo a proteger os dados contra acessos não autorizados e de violações de segurança online, além de assegurar a conformidade com as normas de proteção de dados.

“A organização da divisão de urbanismo deve ser estruturada de forma a integrar de modo eficaz as novas tecnologias e os processos resultantes, na criação de uma sinergia que potencialize as vantagens do gémeo digital.”

(Miranda, 2019)

O departamento de análise urbana utiliza os dados reunidos para realizar as análises detalhadas que depois informam a tomada de decisões. A equipa deve ser composta por analistas de dados e especialistas em ML, técnicos capazes de interpretar grandes volumes de dados e extrair recomendações práticas. A utilização de algoritmos de IA permite prever tendências, identificar potenciais problemas e trabalhar na otimização

dos processos. Uma análise urbana que fornece a base para um planeamento mais proativo.

Coordenando as iniciativas de desenvolvimento urbano, o planeamento estratégico procura alinhar os projetos em desenvolvimento e em execução com os objetivos de longo prazo. A equipa responsável trabalha em estreita colaboração com outras áreas, utilizando as informações fornecidas pela análise urbana para desenvolver planos estratégicos. Uma abordagem estratégica que visa assegurar o alinhamento das intervenções urbanas com a visão geral da cidade e contribuir para que os recursos sejam utilizados de uma forma eficaz.

O departamento de comunicação desempenha um papel essencial na promoção da transparência e no envolvimento da comunidade. Ao assegurar que os cidadãos têm acesso a informações relevantes sobre os projetos urbanos e ao processo de tomada de decisões, a equipa fomenta a participação cívica e o diálogo aberto. Uma comunicação eficaz também desempenha um papel crucial na construção da confiança entre as diferentes partes interessadas e a administração municipal, o que facilita a aceitação e o apoio a iniciativas como a implementação do gémeo digital.

Em síntese, a divisão de urbanismo de Vila Nova de Gaia deve ser organizada de modo a integrar unidades especializadas em gestão de dados, IT, análise urbana, planeamento estratégico e comunicação. Estas áreas são fundamentais para estabelecer uma estrutura operacional sólida, capaz de suportar a implementação eficaz de um gémeo digital.

3.4 Recursos tecnológicos e humanos

A implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia requer uma infraestrutura tecnológica sólida e uma equipa qualificada para assegurar uma integração eficiente dos dados urbanos. Entre os componentes essenciais está a rede de sensores IoT, que deverá ser estrategicamente distribuída pela cidade para captar

dados sobre a dinâmica urbana, como o tráfego, a qualidade do ar, o consumo energético, o estado das infraestruturas, entre outros. A instalação e manutenção desta rede de sensores dependem de uma infraestrutura de comunicação robusta, que permita a transmissão contínua e eficiente de dados.

Dada a especificidade e variabilidade das necessidades de monitorização de cada cidade, uma análise detalhada do número e localização dos sensores a implementar em Vila Nova de Gaia seria um passo fundamental para estabelecer a viabilidade e a eficiência do sistema. Esta análise deveria considerar os custos, a cobertura necessária e as prioridades de monitorização urbana. As experiências de outras cidades como Madrid e Barcelona, indicam que a previsão inicial de sensores é frequentemente ajustada devido a restrições orçamentais e a fatores logísticos, o que reforça a importância de um planeamento flexível.

No entanto, no contexto atual, a realização de uma análise detalhada dos sensores necessários em Vila Nova de Gaia encontra-se limitada pela ausência de dados específicos, o que impede uma avaliação precisa do número exato, da distribuição e das funcionalidades exigidas para cada sensor. Recomenda-se, assim, que esta análise seja efetuada numa fase subsequente, com base em dados empíricos que reflitam as dinâmicas urbanas de Gaia e que permitam delinear um plano de implementação adaptado às características locais e aos recursos disponíveis.

Este estudo preliminar reforça a necessidade de uma abordagem gradual, que permita ajustar o modelo de monitorização de acordo com os dados obtidos à medida que o projeto evolui, maximizando assim a eficácia e a sustentabilidade do gémeo digital na cidade.

Para armazenar e processar os vastos volumes de dados recolhidos pelos sensores IoT, é indispensável dispor de um sistema de Big Data escalável e seguro. Tal sistema proporcionará não apenas a capacidade de armazenamento, mas também a aptidão para executar análises complexas e detalhadas. A escolha de plataformas de armazenamento em nuvem revela-se uma solução eficiente, proporcionando

flexibilidade e uma capacidade de expansão que se adapta de um modo dinâmico às exigências em constante evolução.

É igualmente necessário dispor de recursos humanos devidamente qualificados. "Uma implementação bem-sucedida de um gémeo digital não depende apenas da tecnologia utilizada, mas também da capacidade, por parte dos profissionais envolvidos, em interpretar e utilizar os dados de um modo eficaz" (GRIEVES, 2014, p. 58).

A inteligência artificial (IA) e o machine learning (ML) são tecnologias críticas para a análise de dados, permitindo identificar padrões, prever tendências e otimizar os processos urbanos. Os algoritmos de ML podem ser utilizados na previsão de fluxos de tráfego, otimização do consumo energético e na antecipação de falhas infraestruturais. A implementação da IA requer software especializado, mas também uma equipa bem estruturada de data scientists e engenheiros capacitados para desenvolver e ajustar os modelos.

Figura 18 – Centro de monitorização de tráfego equipado com câmaras de videovigilância, integradas com tecnologias de IoT e análise de Big Data. Estes sistemas capturam dados em tempo real sobre o fluxo de veículos e peões, alimentando o gémeo digital urbano com informações essenciais. Combinado com IA e ML, esta monitorização permite prever congestionamentos, otimizar a mobilidade e melhorar a eficiência.



Fonte: <https://www.cmjornal.pt/sociedade/detalhe/psp-diz-que-cameras-de-videovigilancia-do-porto-sao-so-usadas-para-controlo-do-transito>

Para além das tecnologias de backend, as ferramentas de visualização são essenciais para tornar os dados acessíveis e operacionais. Tecnologias como a realidade aumentada (AR) e a realidade virtual (VR) criam representações visuais interativas do gémeo digital. Tais ferramentas permitem que técnicos e cidadãos compreendam de maneira intuitiva o impacto das intervenções urbanas, favorecem a comunicação entre as partes envolvidas e incentivam a tomada de decisões conjuntas e informadas.

A cibersegurança é outro aspecto importante. A proteção dos dados contra ciberataques e acessos não autorizados é vital para preservar a integridade e a confidencialidade das informações. Medidas como a criptografia de dados, a autenticação multifatorial e a supervisão contínua de potenciais ameaças são obrigatórias para resguardar a infraestrutura tecnológica.

Em termos de recursos humanos, o sucesso da iniciativa depende de uma equipa multidisciplinar. Para a instalação e manutenção da infraestrutura de sensores e sistemas de Big Data, são necessários engenheiros de rede e técnicos de IT. Os data scientists e engenheiros de IA desempenham um papel central na análise dos dados e no desenvolvimento de algoritmos de machine learning. Os especialistas em AR e VR são responsáveis pela criação de ferramentas de visualização, enquanto os profissionais de cibersegurança protegem tanto os dados quanto a infraestrutura tecnológica.

Para coordenar estas atividades, é crucial dispor de gestores de projeto experientes com capacidade de supervisionar a implementação, de modo a confirmar que todas as partes do projeto estão alinhadas com os objetivos estratégicos da cidade. Os gestores devem possuir competências em liderança e comunicação, sendo capazes de integrar diversas disciplinas enquanto fomentam a colaboração entre as equipas. De forma geral, a implementação de um gémeo digital exige a criação de uma infraestrutura tecnológica de ponta e o apoio de uma equipa altamente qualificada. A integração de sensores IoT, sistemas de Big Data, inteligência artificial, ferramentas de visualização e robustas medidas de cibersegurança, coordenada por uma equipa multidisciplinar, será determinante para extrair o máximo proveito desta tecnologia. Com os recursos

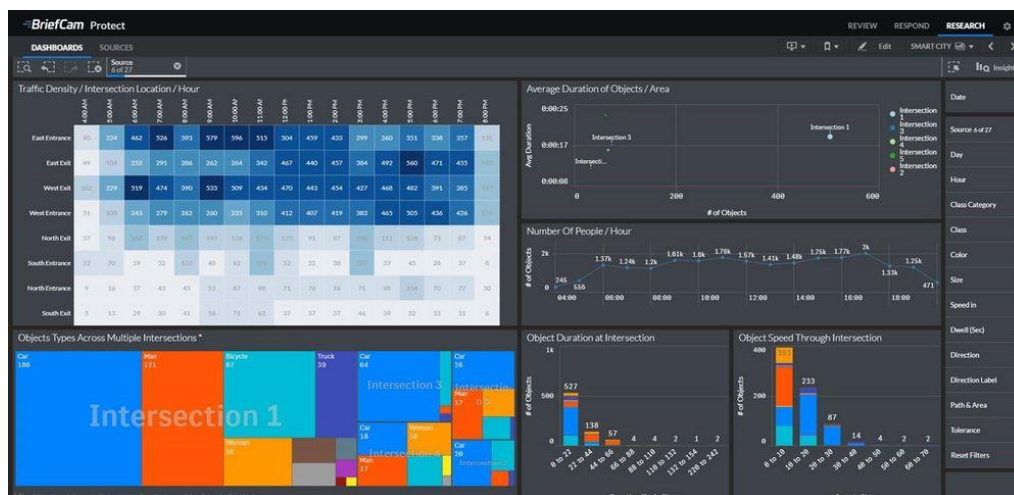
tecnológicos e humanos adequados, Vila Nova de Gaia tem a oportunidade de se posicionar como referência na implementação de gémeos digitais e na promoção de um desenvolvimento urbano mais eficiente e sustentável.

3.5 Potencial para a implementação de um gémeo digital

Para avaliar a viabilidade da implementação de um gémeo digital na cidade de Vila Nova de Gaia, pretendem-se considerar vários fatores, incluindo a infraestrutura existente, os recursos tecnológicos disponíveis, a capacidade instalada dos departamentos envolvidos e o impacto esperado.

A cidade tem vindo a melhorar a sua infraestrutura urbana, e a existência de uma rede de transportes, composta por metro e autocarros que tentam conectar eficazmente as áreas urbanas e suburbanas, constitui um ponto de partida importante para a integração destas tecnologias. A inclusão da infraestrutura de transportes no gémeo digital possibilita uma monitorização abrangente, e em tempo real, do fluxo de tráfego, criando sinergias que podem otimizar a mobilidade urbana. De igual modo, a integração da rede de serviços públicos, como o abastecimento de água, gás, gestão de resíduos e fornecimento de energia, proporciona uma visão holística do funcionamento da cidade. Esta consolidação das informações num único sistema favorece uma gestão mais eficiente dos recursos e uma coordenação mais harmoniosa entre os diferentes serviços.

Figura 19 – Exemplo de uma plataforma de visualização e análise de dados no contexto urbano. A imagem ilustra o monitorização, em tempo real, de parâmetros como a densidade do tráfego, os tipos de objetos em circulação e a velocidade nas interseções.



Fonte: <https://www.briefcam.com/resources/blog/why-is-visualizing-traffic-data-helpful-for-smart-cities/>

Os recursos tecnológicos disponíveis constituem outro fator determinante neste estudo de viabilidade. A cidade tem vindo a realizar investimentos estratégicos em sensores interligados pela Internet das Coisas (IoT), que são elementos fundamentais para a recolha de dados em tempo real. Em Vila Nova de Gaia, a distribuição dos sensores deve seguir um critério que priorize áreas de alta densidade populacional para monitorizar a qualidade do ar e níveis de ruído; corredores de tráfego intenso para captar dados de fluxo e poluição; zonas industriais e comerciais para controlar emissões e consumo energético; áreas de conservação, como a frente ribeirinha, para monitorizar a qualidade ambiental; e infraestruturas críticas (hospitais, escolas) para otimizar o uso de recursos. Este planeamento estratégico permite uma cobertura focada nas principais necessidades urbanas da cidade. Este conjunto de dados é indispensável para a construção de um modelo digital detalhado da cidade, que é continuamente atualizado de modo a refletir as dinâmicas urbanas em permanente atualização.

Para além da infraestrutura e dos avanços tecnológicos, o fortalecimento da divisão de urbanismo é determinante para o êxito do projeto. A divisão deve ser composta por profissionais altamente qualificados em áreas estratégicas como a engenharia de dados, a análise urbana e a gestão de projetos. A formação contínua e a capacitação dos colaboradores são indispensáveis para assegurar um aproveitamento pleno das novas tecnologias. Além disso, uma ágil colaboração interdepartamental, aliada a uma comunicação clara, são igualmente importantes para que exista um alinhamento entre todas as partes interessadas, em consonância com os objetivos definidos do projeto.

Conforme destacado por Michael Grieves, considerado um pioneiro no conceito de gémeos digitais, 'a utilização de gémeos digitais pode fornecer uma visão mais profunda das operações, permitindo a tomada de decisões informadas com base em dados em tempo real, o que contribui para a eficiência e sustentabilidade das infraestruturas urbanas.'

O impacto previsto da implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia assume uma notória relevância. Acredita-se que esta tecnologia tem o potencial de melhorar significativamente a eficiência dos processos urbanísticos, ao reduzir o tempo e os custos associados à gestão e manutenção das infraestruturas. A capacidade de monitorização e de análise de dados em tempo real permite uma tomada de decisão mais informada, o que promove a identificação e resolução dos problemas antes que se tornem críticos. Paralelamente, o recurso à inteligência artificial e a algoritmos de machine learning possibilita uma otimização na alocação de recursos, contribuindo para a melhoria da qualidade dos serviços públicos e para um aumento da satisfação dos cidadãos.

A sustentabilidade surge como uma das mais significativas vantagens associadas à implementação do gémeo digital. Ao possibilitar uma gestão otimizada dos recursos naturais e energéticos, a cidade tem a oportunidade de mitigar o impacto ambiental e fomentar práticas de desenvolvimento sustentável. A capacidade de simular diferentes cenários possibilita uma avaliação rigorosa do impacto ambiental de novas

construções e projetos de infraestrutura, contribuindo de forma decisiva para um desenvolvimento urbano mais equilibrado e responsável.

A capacidade de simular diferentes cenários urbanos possibilita uma avaliação precisa do impacto ambiental de novas construções e projetos de infraestrutura, contribuindo de um modo decisivo para um desenvolvimento urbano mais equilibrado e responsável.

Contudo, a implementação deste projeto em Portugal também enfrenta desafios consideráveis. A segurança e a privacidade dos dados constituem preocupações centrais, exigindo uma abordagem cuidadosa, em conformidade com as diretrizes do Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD). A recolha e o armazenamento de dados urbanos requerem medidas rigorosas de cibersegurança, com o objetivo de prevenir ameaças digitais e a conformidade com as normativas europeias. Por outro lado, os custos iniciais de implementação podem ser elevados, exigindo um investimento substancial em tecnologia e infraestrutura, num contexto em que os recursos municipais são frequentemente limitados. Deste modo, torna-se indispensável realizar uma análise detalhada de custo-benefício, a fim de assegurar que os benefícios a longo prazo justificam amplamente o investimento inicial.

Em síntese, a análise da viabilidade da implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia revela um potencial considerável para otimizar a gestão urbana e promover um desenvolvimento sustentável, em sintonia com as exigências de modernização que o município e o país enfrentam. A combinação de uma infraestrutura em constante evolução, tecnologia avançada e uma equipa técnica altamente qualificada constitui a base indispensável para o sucesso deste projeto. Num contexto em que as cidades portuguesas procuram soluções inovadoras para maximizar os seus recursos e serviços, Vila Nova de Gaia tem a oportunidade de se destacar como uma referência nacional na aplicação de gémeos digitais, exemplificando como estas tecnologias podem transformar as cidades.

4. Implementação Tecnológica

4.1 Infraestrutura necessária

A implementação de um gémeo digital requer uma infraestrutura tecnológica avançada e meticulosamente concebida, capaz de sustentar a recolha, o armazenamento, o processamento e a análise de grandes volumes de dados de forma instantânea. Uma infraestrutura bem executada estabelecerá as bases fundamentais para o pleno funcionamento do gémeo digital.

A base da infraestrutura tecnológica consiste numa rede robusta de sensores IoT (Internet das Coisas). Os sensores devem ser estrategicamente posicionados por toda a cidade para monitorizar uma variedade de parâmetros urbanos, como o tráfego, a qualidade do ar, o consumo de energia, a gestão de resíduos e o estado das infraestruturas. A instalação dos sensores requer um planeamento cuidadoso para estabelecer a cobertura adequada e uma recolha de dados precisa. A conectividade entre dispositivos é frequentemente assegurada através de redes de comunicação sem fios de alta velocidade, como o 5G, que viabilizam a transmissão contínua dos dados. Michael Batty, um dos principais especialistas em cidades inteligentes, observa que a transformação digital das cidades está a revolucionar a forma como os espaços urbanos são planeados e monitorizados, permitindo uma tomada de decisões mais informadas, o que, simultaneamente, reforça tanto a eficiência como a resiliência dos centros urbanos.

Além dos sensores IoT, a infraestrutura de rede deve incluir sistemas avançados de armazenamento de dados. O recurso a tecnologias de Big Data é crítico para gerir o enorme volume de informação gerado pelos sensores. São frequentemente adotadas soluções de armazenamento na *cloud* dada a sua flexibilidade, escalabilidade e viabilidade económica. Tratam-se de soluções que permitem o armazenamento dos dados, oferecendo acessibilidade e ajustando-se às necessidades de expansão à medida que os requisitos evoluem.

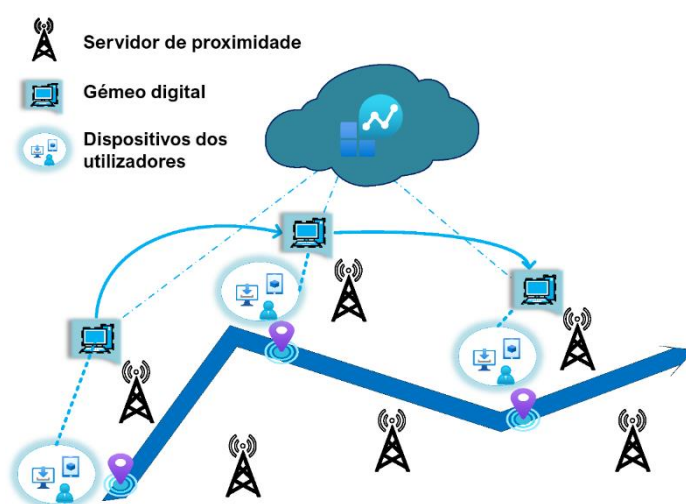
O processamento e a análise dos dados são realizados através de sofisticadas plataformas de análise que recorrem à IA e algoritmos de ML. São estas plataformas que possibilitam a transformação dos dados brutos em ações úteis e consequentes, ao identificar padrões, prever as tendências e a otimizar os processos. Para permitir este tipo de funcionalidades, a infraestrutura tecnológica deve incluir servidores de alto desempenho e software especializado para a análise dos dados. Além disso, a integração de ferramentas de visualização, como os dashboards interativos e as aplicações de AR e VR, permitem uma visualização intuitiva e a interação dinâmica com os dados.

Figura 20 – Representação do funcionamento de um gémeo digital numa cidade inteligente, estabelecendo uma ligação entre o mundo físico e o digital. De forma simplificada:

Os **servidores de proximidade** (representados pelas antenas) estão localizados perto do ambiente físico (como ruas ou edifícios) e recolhem dados rapidamente de dispositivos, como sensores.

Esses dados são enviados para a **cloud**, onde está o **gémeo digital**, que é uma réplica virtual da cidade ou sistema urbano, processando e simulando informações em tempo real.

Os **utilizadores** (como os cidadãos ou gestores) acedem ao gémeo digital através de **computadores** ou **dispositivos móveis** para visualizar os dados e tomar decisões sobre o que está a acontecer na cidade.



Fonte: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/19/8306>

A segurança e a privacidade são componentes essenciais, e cada vez mais sensíveis, da infraestrutura tecnológica. A recolha e o armazenamento dos dados exigem a adoção de medidas sólidas de segurança para a proteção contra ciberataques e reforçar a conformidade com os regulamentos de proteção de dados. Entre as medidas aplicadas estão a criptografia dos dados, a autenticação multifatorial, o uso de firewalls e sistemas de monitorização contínua, que possibilitam a deteção rápida e uma resposta imediata a potenciais ameaças.

A infraestrutura deve igualmente incluir sistemas de backup que garantam a resiliência e mantenham a continuidade das operações. Tais medidas são importantes para prevenir perdas acidentais ou lidar com incidentes de segurança, e assim assegurar que as operações sejam rapidamente restabelecidas em caso de falha.

Em termos de recursos humanos, a implementação e manutenção da infraestrutura tecnológica requer uma equipa multidisciplinar composta por engenheiros de rede, especialistas em IoT, data scientists, engenheiros de IA, especialistas em cibersegurança e gestores de projeto. A estrutura deve possuir as competências técnicas necessárias para instalação, configuração e manutenção dos diversos componentes, além de certificar que todos os sistemas funcionam de forma integrada e eficiente.

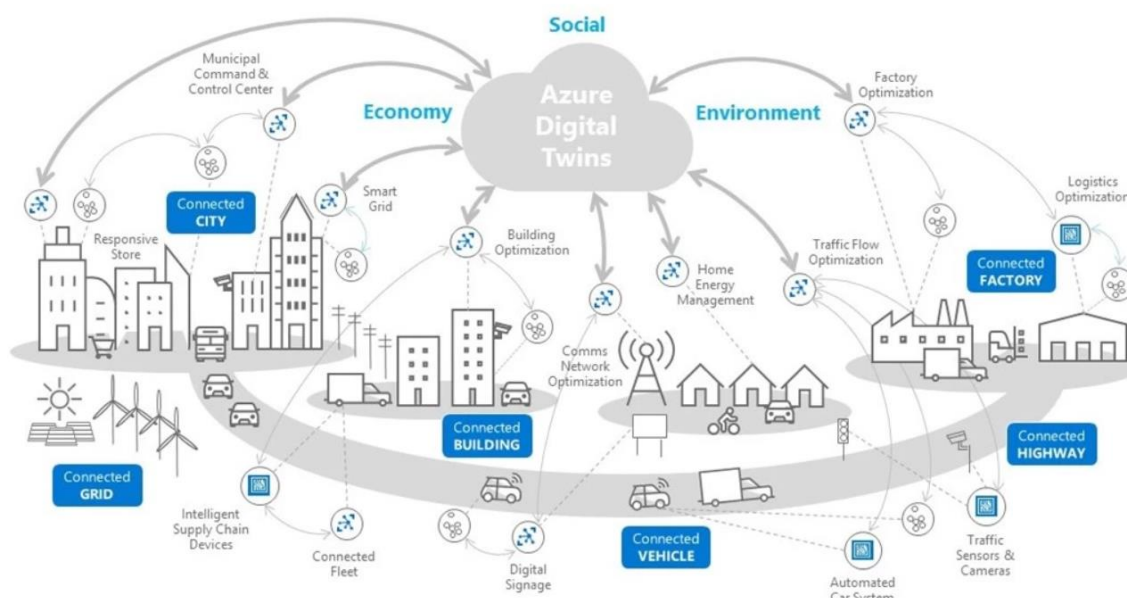
Concluindo, a implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia exige um planeamento detalhado da infraestrutura tecnológica, adaptada para lidar com grandes volumes de dados, que são uma parte fundamental da gestão urbana contemporânea. A integração de tecnologias avançadas com uma equipa técnica qualificada pretende responder às exigências de modernização e sustentabilidade. Num momento em que as cidades portuguesas enfrentam pressões para evoluir e tornar-se mais eficientes, este projeto pode contribuir de forma significativa para uma governança mais eficaz e um desenvolvimento urbano mais equilibrado.

4.2 Software e ferramentas

A implementação de um gêmeo digital requer a utilização de software e ferramentas específicas que sustentam a recolha, análise, visualização e utilização dos dados urbanos. A infraestrutura mencionada tem um papel determinante na conversão dos dados brutos, não tratados, em informações úteis capazes de melhorar a eficiência, funcionalidade e sustentabilidade dos processos urbanísticos.

Um dos componentes centrais do software necessário para operar um gêmeo digital é a plataforma de gestão dos dados urbanos. Uma plataforma que deve ser capaz de integrar informações de diversas fontes, como os sensores de IoT, os sistemas de gestão das infraestruturas e os dados públicos. Alguns exemplos de plataformas de gestão de dados incluem o CityIQ, da GE e o Azure Digital Twins, da Microsoft. Tratam-se de plataformas que permitem a recolha, armazenamento e análise dos dados em tempo real, fornecendo a base sólida necessária para o desenvolvimento e manutenção do gêmeo digital. Além disso, as ferramentas já implementadas como o Balcão Virtual e o NoPaper, conforme mencionado por Carla Pires ([ver Anexo X](#)), têm sido fundamentais na transição para uma gestão digitalizada. Estas plataformas proporcionaram maior eficiência e transparência na gestão urbanística, ao permitir a submissão e gestão de documentos digitalmente, reduzindo a dependência do papel. A integração destas ferramentas representa um passo importante na modernização dos processos, promovendo a desmaterialização e a redução da burocracia, elementos cruciais para o sucesso da implementação de um gêmeo digital.

Figura 21 – Diagrama de um ecossistema de gêmeo digital, onde múltiplas entidades conectadas (cidade, edifício, veículo, fábrica) interagem através da plataforma Azure Digital Twins.



Fonte: <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/announcing-azure-digital-twins-create-digital-replicas-of-spaces-and-infrastructure-using-cloud-ai-and-iot/>

Para proceder à análise dos dados, é necessário recorrer a ferramentas de Big Data e IA. As soluções como o Apache Hadoop e Spark são amplamente utilizadas para o processamento de grandes volumes de dados, enquanto as bibliotecas de IA e ML, como o TensorFlow e PyTorch, são utilizadas para o desenvolvimento de algoritmos que identificam padrões e antecipam tendências. A integração destas ferramentas na plataforma de gestão de dados providencia as análises detalhadas que permitem os incrementos de assertividade esperados na tomada de decisão.

A forma como os dados são apresentados constitui outro aspecto relevante. As ferramentas de visualização como o Tableau e Power BI permitem criar dashboards interativos que facilitam a interpretação dos dados e uma comunicação dos resultados. Adicionalmente, a utilização das tecnologias de AR e VR pode proporcionar uma visualização mais imersiva e intuitiva das informações reunidas pelo gêmeo digital. Neste sentido, ferramentas como Unity e Unreal Engine são frequentemente utilizadas

para desenvolver as aplicações que possibilitam a visualização e interação tridimensional com o modelo digital da cidade.

Figura 22 – Modelo 3D detalhado de uma cidade utilizado para a visualização e monitorização do ambiente urbano em tempo real. Esta ferramenta permite aos gestores urbanos analisar a disposição das infraestruturas e planejar intervenções de forma mais eficiente, integrando dados de diversas fontes para uma visão abrangente do território.



Fonte: <https://www.siradel.com/digital-twins-for-an-integrated-vision-of-your-territory/>

A integração de sensores IoT e a gestão da infraestrutura de rede requerem a utilização de plataformas especializadas. O AWS IoT e o Google Cloud IoT Core são exemplos de plataformas que permitem a conexão e a gestão dos dispositivos IoT, ao permitir a recolha e a transmissão instantânea dos dados. Ambas as plataformas também disponibilizam as ferramentas adequadas para a análise inicial dos dados e a sua posterior integração com os sistemas existentes.

Para além das plataformas e ferramentas de software mencionadas, a implementação de um gémeo digital requer igualmente a integração dos sistemas de informação geográfica (SIG). Os SIG permitem a criação dos mapas detalhados que são depois incorporados no gémeo digital para proporcionar uma compreensão mais aprofundada do contexto espacial. Para a análise espacial e a visualização dos dados geográficos são fundamentais ferramentas como o ArcGIS e QGIS, que permitem uma representação precisa das informações territoriais.

A disponibilização de ortofotomapas e a expansão das capacidades do Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do Smig.Gaia representam avanços significativos na gestão urbanística em Vila Nova de Gaia. Estas ferramentas oferecem uma visualização detalhada e atualizada do desenvolvimento urbano, destacando-se como um recurso essencial para o planeamento e preservação da cidade. A capacidade de acompanhar o crescimento urbano ao longo do tempo, com o apoio de ortofotomapas precisos, exemplifica o papel crucial da tecnologia no apoio ao planeamento de intervenções futuras, garantindo que estas são fundamentadas e promovem a sustentabilidade. A disponibilização de dados geográficos detalhados constitui, assim, um recurso fundamental para uma gestão territorial eficaz e bem-informada.

Figura 23 – Interface do Sistema Municipal de Informação Geográfica de Vila Nova de Gaia (SMIG Gaia). Esta plataforma permite o acesso e partilha de dados geoespaciais, com funcionalidades como o Geoportal, SIGMAT e aplicações de mapeamento.



Fonte: <https://www.gaiurb.pt/pages/908>

Para complementar estas soluções, foram também discutidas ferramentas inovadoras como o Cypeurban e o Chekbbdp, que oferecem funcionalidades avançadas para análise e modelagem no planeamento urbano. O Cypeurban, por exemplo, ajuda a otimizar o planeamento urbano através de simulações detalhadas, enquanto o Chekbbdp oferece funcionalidades de verificação e validação de dados, garantindo a precisão e

conformidade dos projetos. Para além destas tecnologias de ponta destacam-se outras, especialmente no campo da inteligência artificial:

Produção de ideias: Os algoritmos de IA podem propor várias opções de plantas arquitetónicas, que tenham em consideração fatores como a iluminação natural, ventilação e privacidade. Ferramentas como o UrbanSim possibilitam que os arquitetos combinem diversas alternativas ou as adaptem para desenvolver projetos mais criativos.

Análise do desempenho: A IA também pode avaliar os projetos em relação a critérios como o conforto térmico, acústico, consumo energético e as emissões de carbono, com a sugestão de melhorias para atingir os objetivos propostos. Alguns exemplos incluem ferramentas como o OpenStudio, EnergyPlus e DesignBuilder.

Ambientes interativos e adaptativos: As tecnologias de IA estão a criar espaços que se adaptam às condições climáticas, aos comportamentos e às necessidades específicas dos utilizadores. Ferramentas como o homedesigns.ai e roomgpt.io exemplificam este tipo de inovação.

Análise de dados e previsões: A IA possui a capacidade de analisar vastas quantidades de dados, identificar os padrões subjacentes e antecipar as tendências futuras, revelando-se determinante para um planeamento urbano mais sustentável e inteligente. Soluções como o Insights da *Sustainability by Google* e o Canopy, da plataforma *i-Tree Tools*, exemplificam este avanço tecnológico ao promover a otimização do uso dos recursos básicos como a energia e a água.

Figura 24 – Exemplo de visualização na plataforma Google Insights for Sustainability, que oferece dados sobre a sustentabilidade urbana, como a cobertura das áreas verdes, a atividade do transporte, e o potencial de produção de energia solar nos telhados.

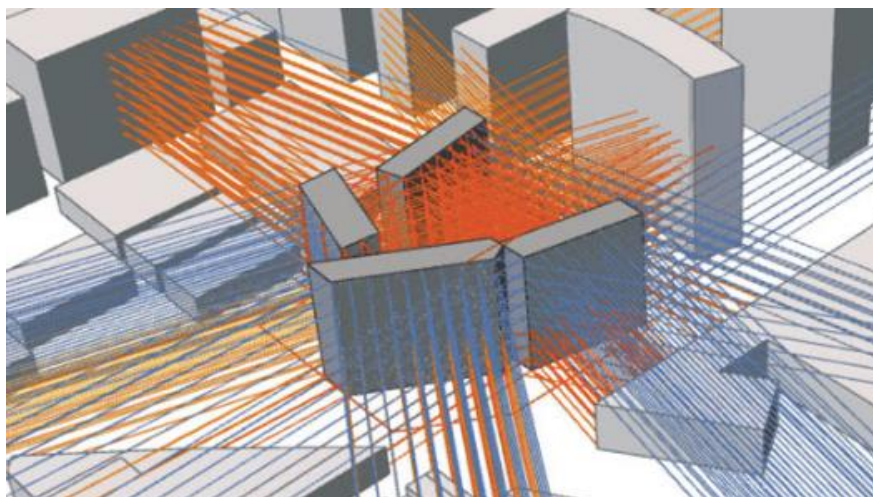


Fonte: <https://insights.sustainability.google/places/ChIJwVPhxKtIJAORvBSxQFbZSKY?hl=pt-BR>

Simulações: Plataformas como o Digital Blue Foam, da *Urban Insights*, possibilitam a simulação e avaliação das soluções urbanísticas com elevada eficiência, oferecendo cenários detalhados que reforçam o processo de tomada de decisão.

Design generativo: Ferramentas como o Autodesk Generative Design e o Autodesk Fusion 360 proporcionam a exploração de múltiplas soluções de design, fundamentadas em restrições específicas e objetivos definidos, tais como a otimização dos materiais, a redução dos custos e o desempenho estrutural. Por sua vez, o Grasshopper, em conjunto com plugins avançados como o Galapagos e o Octopus, possibilita a criação de designs generativos através da utilização de algoritmos evolutivos que promovem uma abordagem inovadora do processo criativo.

Figura 25 – Simulação de otimização de vistas e circulação no ambiente urbano com a utilização do Galapagos no Grasshopper. Esta ferramenta permite analisar múltiplos parâmetros, como a orientação dos edifícios e a maximização de luz natural, auxiliando no desenvolvimento de soluções urbanas mais eficientes e adaptadas ao contexto.



Fonte: <https://www.gaiurb.pt/pages/908>

Otimização dos espaços: O SpaceMaker cria layouts otimizados para edificações e espaços urbanos, tendo em conta fatores como a exposição solar, ventilação, enquadramentos visuais e acessibilidade. Paralelamente, o TestFit automatiza a concepção de layouts para edifícios multifamiliares e comerciais, valida o cumprimento das regulamentações locais e a viabilidade financeira do projeto.

Sustentabilidade e eficiência energética: O Cove.Tool é uma plataforma que simula e otimiza o desempenho energético de edifícios de modo a que os projetos integrem princípios de sustentabilidade desde a sua fase de conceção.

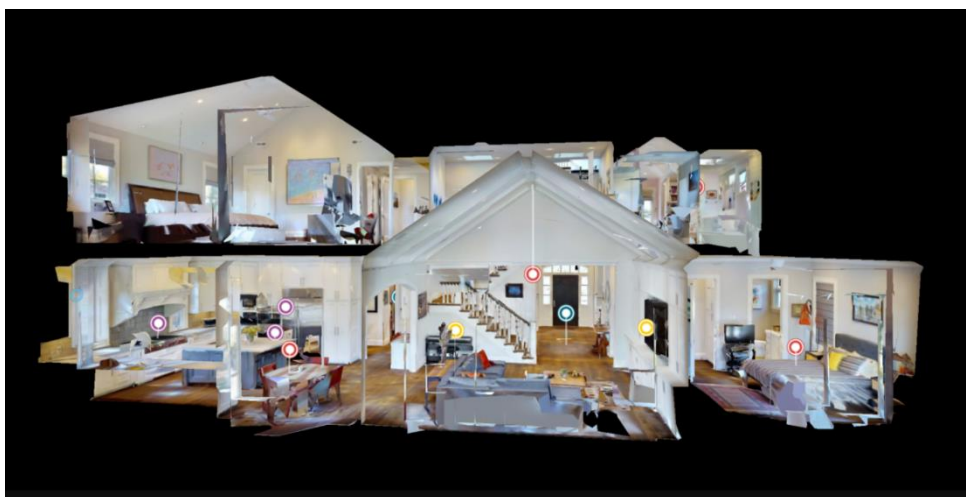
Personalização dos projetos: Ferramentas como o Morpholio possibilitam a criação de desenhos personalizados que incorporam de forma dinâmica o feedback dos clientes. Por sua vez, o Fologram utiliza a realidade aumentada sobrepondo modificações diretamente no ambiente físico, para proporcionar uma experiência imersiva do desenvolvimento do projeto.

Colaboração e visualização: O Twinmotion, uma ferramenta sofisticada de visualização em tempo real, integrada com plataformas como Revit e ArchiCAD, possibilita a criação

de experiências imersivas em realidade virtual e realidade aumentada. Uma solução que procura fomentar a colaboração entre equipas, proporcionando um interface visual que facilita a comunicação e o desenvolvimento conjunto dos projetos.

Reabilitação e renovação de edifícios: O Matterport emprega câmaras 3D para digitalizar espaços existentes, criando modelos de alta precisão que servem de base para um planeamento detalhado de projetos de arquitetura como renovações e reabilitações.

Figura 26 – Exemplo de modelo 3D criado com a tecnologia Matterport, que permite a digitalização detalhada de ambientes internos para visualização interativa.



Fonte: <https://techcrunch.com/2019/03/05/matterport-2/>

As ferramentas tecnológicas apresentadas são alguns exemplos que reforçam a capacidade das equipas de otimizar os processos e de promover uma gestão urbana mais eficaz e sustentável.

A interoperabilidade entre os diversos sistemas e plataformas representa um desafio que requer a atenção adequada. O uso de padrões abertos e APIs (interfaces de programação de aplicações) é vital para garantir uma interação eficiente entre os vários componentes do sistema. Alguns padrões como o Open Geospatial Consortium (OGC) e APIs RESTful são frequentemente utilizados para facilitar a integração entre os sistemas e uma comunicação harmoniosa entre as diferentes tecnologias.

Em matéria de segurança, é necessário adoptar software especializado para proteger a integridade e a confidencialidade dos dados. O recurso a ferramentas de cibersegurança, como firewalls, sistemas de detecção de intrusão (IDS) e software de criptografia desempenham um papel fundamental na proteção do sistema e na conformidade com os regulamentos de proteção de dados.

Paralelamente, a capacitação dos recursos humanos com as competências técnicas adequadas é outro ponto chave. Os profissionais responsáveis pela implementação e manutenção do gémeo digital devem ser treinados para o uso das ferramentas e sistemas mencionados através de programas de formação contínua e workshops especializados.

Em conclusão, a implementação de um gémeo digital requer uma combinação de plataformas de gestão dos dados, ferramentas de análise de Big Data e IA, tecnologias de visualização, plataformas IoT, sistemas de informação geográfica e software de cibersegurança. Uma integração capaz destas ferramentas, associada a uma equipa devidamente qualificada, permitirá à cidade um aproveitamento pleno dos benefícios da tecnologia.

4.3 Segurança e privacidade de dados

A recolha, armazenamento e análise de grandes volumes de dados urbanos, inerente à implementação de um gémeo digital, levanta naturalmente questões de segurança e privacidade. Constituem um pilar para preservar a confiança dos cidadãos e garantir o cumprimento dos regulamentos de proteção de dados, como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR) na União Europeia. Este capítulo explora as medidas a considerar para proteger a segurança e a privacidade dos dados no contexto do gémeo digital.

A primeira barreira de proteção dos dados envolve a implementação de protocolos fiáveis de cibersegurança, como o uso de firewalls de última geração que protegem a rede contra acessos não autorizados e ataques maliciosos. De igual modo, a

criptografia dos dados, tanto durante a transmissão quanto em repouso, é fundamental para proteger informações sensíveis de possíveis interceptações. A utilização de algoritmos de criptografia eficazes, como o AES (Advanced Encryption Standard), é recomendada para assegurar a integridade e confidencialidade dos dados.

Complementarmente, a autenticação multifatorial (MFA) representa uma medida essencial para proteger o acesso aos sistemas que gerem o gémeo digital. A MFA requer que os utilizadores forneçam dois ou mais métodos de autenticação para verificação da identidade, assim reduzindo significativamente o risco de acessos indevidos. De forma adicional, o uso de políticas de senhas fortes e a obrigatoriedade da renovação periódica das mesmas contribuem para a segurança das contas dos utilizadores.

Uma monitorização contínua da rede e dos sistemas contribui para a deteção e resposta a ameaças em tempo oportuno. Propõe-se a adoção de sistemas de deteção de intrusão (IDS) e de prevenção de intrusão (IPS), com o objetivo de identificar atividades suspeitas e adotar rapidamente medidas de mitigação contra potenciais ataques. A análise dos registos de atividades e a realização de auditorias periódicas aos sistemas ajudam a detectar anomalias e vulnerabilidades que possam ser exploradas por agentes maliciosos.

A conformidade com os regulamentos de proteção de dados, como o GDPR, exige que os dados pessoais sejam eticamente tratados com transparência. Uma prática que inclui a obtenção do consentimento explícito dos cidadãos para a recolha e processamento dos seus dados, bem como a limitação dos dados recolhidos ao estritamente necessário e apenas utilizados para os fins especificados. A implementação de políticas de privacidade claras e a realização de avaliações de impacto sobre a proteção de dados (DPIA) são práticas recomendadas para assegurar a conformidade regulatória. Como mencionado, as DPIAs não só avaliam o cumprimento técnico, mas também os riscos inerentes à privacidade dos indivíduos e a eficácia dos controlos implementados' (Corporate Compliance Insights, 2023).

A política de gestão deve incluir mecanismos de anonimização e pseudonimização dos dados pessoais, para que as informações possam ser utilizadas em análises e previsões sem comprometer a privacidade. Práticas estas que minimizam o risco de identificação de indivíduos a partir de conjuntos de dados, reforçando a segurança e a privacidade.

A formação e a sensibilização dos colaboradores sobre as melhores práticas de segurança e privacidade, são fundamentais para fomentar uma cultura organizacional orientada para a cibersegurança. Os programas de formação contínua contribuem para que todos os envolvidos compreendam a importância da proteção dos dados e estejam preparados para manter a confidencialidade das informações sensíveis.

Para além das medidas técnicas e organizacionais, uma estreita colaboração com as autoridades competentes e a participação em redes de cibersegurança oferecem um apoio adicional valioso na mitigação das vulnerabilidades digitais. A partilha de informações sobre as ameaças emergentes com outras cidades e organizações contribui para o fortalecimento da segurança coletiva.

Em síntese, a implementação de um gémeo digital requer uma abordagem rigorosa à segurança e privacidade de dados, adaptada ao contexto específico da cidade e ao enquadramento legislativo português. Medidas sólidas de cibersegurança, conformidade com as regulamentações de proteção de dados, como o GDPR, e a aplicação de técnicas avançadas de anonimização e pseudonimização são indispensáveis para proteger as informações pessoais. A formação contínua dos recursos humanos e a colaboração próxima com as autoridades nacionais e redes de cibersegurança reforçam esta proteção, ao mesmo tempo que promovem a troca de conhecimentos sobre ameaças emergentes.

5. Outros aspetos relevantes

5.1 Envolvimento comunitário

O desenvolvimento de um gémeo digital deve ser entendido não apenas como uma inovação tecnológica mas também como uma oportunidade para reforçar a governança participativa e integrar a comunidade nos processos de planeamento urbano. Num município onde a população desempenha um papel ativo na vida pública, é essencial garantir que esta tecnologia responde tanto às necessidades práticas quanto às aspirações dos cidadãos. O envolvimento comunitário não só promove uma maior transparência e confiança, como também assegura que as preocupações e expectativas da população são devidamente consideradas. Este capítulo explora as estratégias ponderadas para incluir a população de Gaia no processo de implementação do gémeo digital, com particular foco em iniciativas participativas, consultas públicas e ferramentas de interação digital que possam facilitar a comunicação entre a comunidade e as autoridades municipais.

Um dos primeiros passos para impulsionar o envolvimento cívico é a realização de campanhas de sensibilização e educação. As campanhas devem ser desenhadas de modo a informar os cidadãos sobre o que é um gémeo digital, como funciona e quais os benefícios esperados para a cidade e residentes. Ao recorrer a diversos canais de comunicação, como redes sociais, sites oficiais, newsletters, workshops e sessões públicas, a administração municipal pode alcançar um público amplo e diversificado. A clareza da comunicação, pautada pela transparência, para fortalecer a confiança e encoraja uma participação ativa e informada dos cidadãos.

A criação de plataformas digitais de participação é outra estratégia eficaz para envolver a comunidade. Uma plataforma bem desenhada permite aos cidadãos o acesso a informações detalhadas sobre os projetos em curso, consultar dados urbanos em tempo real e oferecer a sua contribuição através de feedback sobre as diversas iniciativas. A desmaterialização dos processos administrativos, promovida por plataformas como o Balcão Virtual e o NoPaper, também desempenha um papel fundamental na promoção da transparência. Ao digitalizar os processos, a Gaiurb

garante que os cidadãos têm acesso facilitado às informações e podem interagir de forma mais ágil com a administração pública, promovendo assim uma maior participação e confiança. Estas plataformas também proporcionam uma via para os residentes se manterem informados e participarem ativamente, independentemente da localização ou do horário. A introdução de uma aplicação móvel pode aumentar ainda mais a acessibilidade, ao permitir a participação contínua dos cidadãos.

A organização de workshops e encontros comunitários ajuda também na promoção do diálogo direto entre os cidadãos, técnicos e dirigentes municipais. Eventos estes que oferecem uma oportunidade para discutir projetos, esclarecer dúvidas e obter feedback construtivo. Igualmente, proporcionam um espaço para a co-criação de soluções, ao inserir os cidadãos diretamente no processo de desenvolvimento das iniciativas urbanas. A realização de workshops temáticos, focados em áreas como a mobilidade, meio ambiente e infraestrutura, pode ajudar na abordagem de questões específicas e incentivar uma participação mais direcionada.

Para garantir que todas as vozes sejam devidamente representadas, é importante adotar abordagens inclusivas que considerem a diversidade da população. Tais abordagens devem incluir a acessibilidade para as pessoas com mobilidade reduzida, bem como a disponibilização de materiais e comunicações em diferentes idiomas, conforme se revele necessário. A colaboração com organizações comunitárias, escolas, universidades e outras entidades locais pode ser útil para alcançar grupos específicos e manter uma representação equitativa.

A gamificação apresenta-se como uma técnica inovadora que, ao transformar a ação cívica numa experiência interativa, pode ser utilizada para fomentar a participação da comunidade. Alguns exemplos de gamificação incluem a atribuição de pontos ou recompensas para os cidadãos que participem em questionários, partilhem informações ou contribuam ativamente para os projetos da comunidade. Uma abordagem que pode tornar o processo de envolvimento mais dinâmico e atrativo, ao incentivar a colaboração de forma lúdica e envolvente.

A monitorização e avaliação contínua do envolvimento comunitário são necessárias viabilizar que as estratégias adotadas alcancem os resultados desejados. A administração municipal deve reunir e analisar os dados sobre a participação dos cidadãos, identificando as áreas que carecem de melhorias e ajustar as estratégias conforme necessário. A realização de avaliações regulares e a publicação de relatórios sobre o progresso alcançado no âmbito da participação cívica contribuem para promover a transparência e a responsabilidade pública.

Em conclusão, através de uma abordagem que combine campanhas de sensibilização, a criação e incentivo de plataformas digitais de participação, a realização de encontros comunitários, abordagens inclusivas, gamificação e uma monitorização constante, a administração municipal pode manter os cidadãos informados, envolvidos e capacitados para contribuir ativamente no desenvolvimento urbano. Tratam-se de estratégias que começam já a ser vistas em várias cidades portuguesas no âmbito da participação cívica, e que não só promovem uma governança mais transparente e participativa como também ajudam a construir uma cidade mais resiliente e alinhada com as aspirações dos residentes. O cenário nacional demonstra, cada vez mais, a valorização da inclusão dos cidadãos nos processos decisórios, uma tendência que Gaia tem a oportunidade de aprofundar.

5.2 Aspectos legais e regulamentares

A implementação de um gémeo digital implica uma consideração dos aspetos legais e regulamentares que orientam o uso da tecnologia e a gestão dos dados. O capítulo explora as normas e os regulamentos aplicáveis, com ênfase na conformidade com a legislação vigente, a proteção dos dados pessoais e as considerações éticas relacionadas com a aplicação de tecnologias digitais no contexto urbano.

A implementação exige uma rigorosa conformidade com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR), que estabelece diretrizes claras sobre o tratamento de dados pessoais, incluindo a recolha, processamento, armazenamento e proteção desses dados. Segundo as normas do GDPR, a recolha de dados deve ser realizada de

forma transparente, com o consentimento explícito dos cidadãos, assegurando o seu direito de acesso, retificação e eliminação dos dados, quando solicitado. Além disso, a aplicação de medidas técnicas, como a criptografia e a pseudonimização são recomendadas. Em termos de conformidade, o GDPR estabelece princípios fundamentais, como a minimização de dados e a limitação da finalidade, garantindo que apenas os dados estritamente necessários sejam recolhidos e utilizados para os fins inicialmente comunicados. Por exemplo, o artigo 5º do GDPR sublinha que os dados devem ser "recolhidos para fins específicos, explícitos e legítimos" e armazenados apenas durante o tempo necessário. Medidas como estas são cruciais para evitar abusos e proteger a privacidade dos cidadãos no contexto de projetos urbanos complexos como o gémeo digital.

Para além do GDPR, outras legislações nacionais e municipais podem ser igualmente aplicadas. Em Portugal, a Lei n.º 58/2019, que assegura a execução do GDPR no contexto nacional, detalha as obrigações das entidades que tratam dos dados pessoais. Funcionando como complemento ao GDPR, esta legislação fornece as orientações adicionais específicas ao contexto português. É imperativo que tanto a administração municipal como os técnicos envolvidos na implementação do gémeo digital estejam familiarizados com a legislação e atuem em rigorosa conformidade com as suas disposições.

Figura 27 – Os sete princípios fundamentais do GDPR



Fonte: <https://www.testgorilla.com/blog/gdpr-for-employers/>

A Lei de Proteção de Dados de Portugal também estipula os requisitos sobre a nomeação de um Encarregado de Proteção de Dados (DPO), responsável por verificar a conformidade com as normas de proteção de dados e por atuar como o ponto de contato entre a entidade que processa os dados e a Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD). A presença de um DPO desempenha um papel essencial na supervisão dos procedimentos adotados e verificação da conformidade de todas as atividades com a legislação aplicável.

Outro aspeto legal relevante relaciona-se com a cibersegurança. A Lei n.º 46/2018 estabelece o regime jurídico da segurança do ciberespaço em Portugal impondo responsabilidades às entidades públicas e privadas para promover a segurança das redes e sistemas de informação. Trata-se de uma legislação que exige a implementação de medidas técnicas e organizacionais adequadas para a gestão dos riscos de cibersegurança e a proteção dos dados. A conformidade com este enquadramento é indispensável para que o gémeo digital funcione de forma segura e resiliente, e assim resguardar a integridade dos sistemas e das informações.

Juntamente com a legislação de proteção de dados e cibersegurança, o desenvolvimento de um gémeo digital também deve considerar as normas técnicas e padrões internacionais que orientam a interoperabilidade e a gestão de dados urbanos. Padrões como os definidos pelo Open Geospatial Consortium (OGC) e as especificações do ISO 37120, que abordam os indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida, desempenham um papel importante na padronização e consistência do tratamento dos dados urbanos. A adoção de padrões facilita a integração dos dados provenientes de diferentes fontes e na colaboração com outras cidades e entidades.

As considerações éticas desempenham um papel igualmente relevante na implementação do projeto. A utilização de IA e as análises da Big Data devem ser conduzidas de modo a respeitar os direitos e liberdades individuais, o que inclui evitar qualquer forma de discriminação e a promoção da transparência nos processos de tomada de decisão automatizados. A criação de comissões de ética e a realização de avaliações de impacto ético são estratégias que podem auxiliar na identificação e

mitigação de riscos associados ao uso dessas tecnologias, o que possibilita que o desenvolvimento tecnológico esteja em consonância com os princípios éticos.

Outro regulamento em recente implementação com pertinência no contexto da implementação de gémeos digitais é o AI Act, uma proposta da União Europeia para regulamentar o uso da inteligência artificial em vários setores. O regulamento tem como objetivo assegurar que as aplicações de IA, especialmente as de alto risco, sejam desenvolvidas e utilizadas de forma a respeitar os direitos fundamentais e as normas de segurança, de modo a promover a transparência e a responsabilização no uso da IA. No caso dos gémeos digitais, nos quais a inteligência artificial desempenha um papel fundamental na análise preditiva e na tomada de decisões automatizadas, a conformidade com o AI Act será obrigatória para evitar práticas discriminatórias, promover a equidade nos processos automatizados e certificar que as ferramentas de IA utilizadas sejam transparentes e auditáveis. A implementação deste regulamento reforçará a confiança pública e a proteção da comunidade, para reforçar que a utilização da IA em ambientes urbanos respeite princípios éticos e legais rigorosos.

Em conclusão, a implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia requer uma observância rigorosa de um vasto conjunto de normas e regulamentos, abrangendo o GDPR, a legislação nacional de proteção de dados, as leis de cibersegurança e padrões técnicos internacionais. Embora a legislação atual ofereça uma base sólida, o cumprimento das normas em muitos contextos urbanos ainda apresenta lacunas e ambiguidades. Ao adotar uma abordagem tecnológica avançada, o projeto tem o potencial de ir além das práticas habituais, reforçando de forma significativa o respeito pelas exigências legais e promovendo uma aplicação mais consistente e clara das normas. Assim, o desenvolvimento do gémeo digital não só fortalecerá a proteção dos dados dos cidadãos, como também elevará os padrões de governança urbana, consolidando a confiança pública.

5.3 Sustentabilidade e Impacto ambiental

A utilização da inteligência artificial (IA) no contexto urbano oferece inúmeras vantagens, que incluem a otimização de processos e o aumento da eficiência ambiental. Conforme salientado por diversos estudos, a IA tem um papel preponderante na gestão de vastos volumes de dados, como a análise em tempo real de informações sobre tráfego, o consumo energético e outros fatores urbanos. A capacidade singular de processar dados rapidamente permite identificar inconformidades e sugerir correções de forma quase imediata, o que acelera os processos de tomada de decisão e, conseqüentemente, promove uma maior eficiência operacional. De acordo com uma análise do Fórum Económico Mundial, a IA pode otimizar o uso dos recursos, assim como contribuir significativamente para a redução das emissões de carbono e outros impactos ambientais, o que contribui para que as cidades adotem práticas mais sustentáveis. (referencias).

No contexto de Vila Nova de Gaia, a implementação de um gémeo digital deve transcender a mera implementação tecnológica, sendo orientada por um compromisso concreto com a sustentabilidade. As tecnologias inteligentes desempenham um papel central na promoção de práticas urbanas mais ecológicas, possibilitando a otimização dos recursos e a diminuição da pegada ambiental. Com a incorporação de soluções baseadas em IA, a cidade tem a oportunidade de se alinhar com os objetivos contemporâneos de desenvolvimento sustentável, contribuindo de forma eficaz para a mitigação dos impactos ambientais e climáticos que acompanham o crescimento urbano.

Entre os principais benefícios associados ao gémeo digital encontra-se a capacidade de monitorizar e gerir de forma contínua o consumo energético. A instalação de sensores IoT em edifícios, infraestruturas de transporte e instalações públicas permite a recolha de dados detalhados sobre o uso de energia. Os dados podem ser analisados para identificar os padrões de consumo, detetar ineficiências e implementar soluções de otimização energética. Por exemplo, os sistemas de iluminação pública podem ser

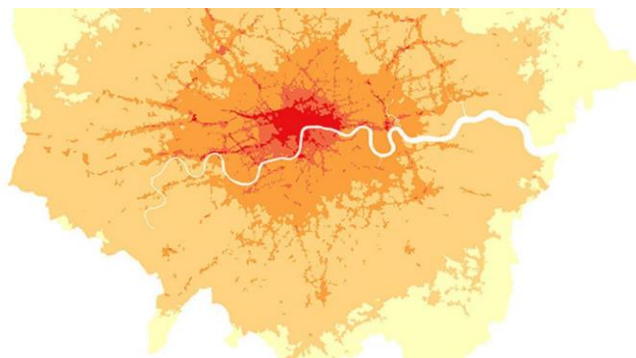
ajustados automaticamente com base na presença de peões e veículos, para reduzir o desperdício de energia.

De igual modo, o gémeo digital pode promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. A instalação de sensores permite monitorizar o consumo de água, detetar fugas em tempo real e gerir a distribuição de maneira mais eficaz, contribuindo para a conservação dos recursos e a redução dos custos operacionais associados ao desperdício e manutenção das infraestruturas. A análise detalhada dos dados sobre o uso de água pode ainda orientar a formulação de políticas públicas e ajudar no desenho de campanhas de sensibilização que promovam a utilização sustentável deste recurso natural.

A gestão dos resíduos é outro campo onde o gémeo digital pode ter um impacto relevante. A instalação de sensores nos contentores e pontos de reciclagem permite avaliar os níveis dos resíduos, o que permite uma recolha mais eficiente e oportuna. Uma abordagem que racionaliza o número de viagens desnecessárias dos camiões de recolha, com a consequente redução das emissões de carbono associadas ao transporte. Além disso, a análise dos dados recolhidos pode ajudar a identificar padrões de comportamento e áreas problemáticas, o que resulta na implementação de programas de reciclagem mais eficazes na redução dos resíduos.

A qualidade do ar tem adquirido uma importância crescente nas áreas urbanas, e um gémeo digital pode desempenhar uma função determinante no acompanhamento e promoção das condições ambientais. A medição da concentração de poluentes no ar, nas diversas zonas da cidade, fornece informações detalhadas sobre a saúde ambiental de forma contínua. Os dados podem ser depois utilizados para alertar a população quando são atingidos níveis perigosos de poluição, orientar o tráfego de modo a reduzir as emissões nas zonas mais afetadas e informar políticas de longo prazo com o objetivo de melhorar a qualidade do ar.

Figura 28 – Mapa de calor ilustrando a concentração de poluição atmosférica em Londres, destacando as áreas com níveis mais elevados de poluentes.



Fonte: <https://www.london.gov.uk/city-hall-blog/map-reveals-dire-extent-londons-toxic-air>

O planeamento urbano e a gestão dos espaços verdes também podem tirar proveito da implementação do gémeo digital. A capacidade de gerar simulações detalhadas, de diferentes cenários do desenvolvimento da cidade, permite que os responsáveis pela tomada de decisões avaliem antecipadamente o impacto ambiental dos novos projetos. Desta forma, é possível tomar decisões fundamentadas que equilibram um crescimento urbano consciente com a preservação de áreas verdes e da biodiversidade. O gémeo digital pode também ajudar na identificação de áreas adequadas para a criação de novos espaços verdes, o que eleva a qualidade de vida dos residentes e promove a sustentabilidade urbana.

A mobilidade sustentável representa outro domínio no qual o gémeo digital pode exercer um impacto significativo. A análise detalhada dos dados de tráfego permite otimizar as rotas do transporte público, incentivar o uso da bicicleta e de meios suaves de deslocação simultaneamente, incentiva o uso de veículos elétricos e a diminuição da dependência do automóvel particular. A introdução de soluções inteligentes de mobilidade contribui para a redução das emissões de gases com efeito de estufa e a um aumento na eficiência dos sistemas de transporte urbano.

Em Vila Nova de Gaia, a adoção de um gémeo digital pode representar uma viragem significativa na forma como a cidade gere os seus recursos e responde aos desafios contemporâneos de urbanização e sustentabilidade. Ao otimizar a utilização dos

recursos e promover práticas mais eficientes, abre-se novas possibilidades para o desenvolvimento sustentável, melhorando a qualidade de vida dos residentes e preparando a cidade para os desafios futuros. Num contexto em que Gaia tem investido na modernização das suas infraestruturas e na dinamização de espaços públicos, o gémeo digital surge como uma ferramenta indispensável para alcançar metas de sustentabilidade que, de outra forma, seriam difíceis de concretizar.

6. Vantagens e Desvantagens

6.1 Vantagens

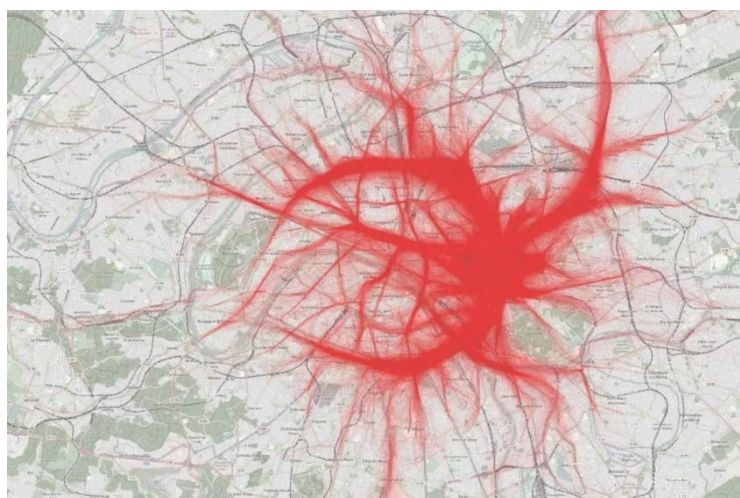
A implementação de um gêmeo digital em Vila Nova de Gaia promete trazer inúmeras vantagens significativas que podem transformar a gestão urbana e melhorar a qualidade de vida dos seus residentes. Uma das principais vantagens associadas aos gêmeos digitais reside na otimização da gestão dos recursos urbanos. Através da recolha e análise contínua dos dados provenientes de diversas fontes, como os sensores IoT instalados por toda a cidade, o gêmeo digital permite uma monitorização precisa dos sistemas base, como a distribuição de água, o consumo energético e a gestão de resíduos. Segundo o estudo de Smith (2020), 'os gêmeos digitais são fundamentais para criar cidades inteligentes, permitindo uma gestão eficaz dos recursos e a redução dos desperdícios' (Smith, J. (2020). *Digital Twins in Urban Development*. London: Urban Tech Press, p. 145). A capacidade de identificar ineficiências em tempo oportuno transforma o modo como as cidades abordam os seus desafios diários e promove soluções que aumentam a sustentabilidade e a eficiência operacional.

Uma das principais vantagens é o aumento da eficiência na gestão dos recursos urbanos. O sistema permite a recolha e análise dos dados em tempo real, provenientes de diversas fontes, como os sensores IoT distribuídos pela cidade. A monitorização contínua torna possível identificar e corrigir rapidamente ineficiências em sistemas críticos, como a distribuição de água, o consumo de energia e a gestão dos resíduos. Por exemplo, a deteção precoce de fugas de água ou de padrões anómalos de consumo energético permite intervenções rápidas, reduzindo desperdícios e custos operacionais.

A implementação desta tecnologia pode otimizar a mobilidade urbana, ao melhorar tanto o fluxo do tráfego como a gestão integrada do transporte público. A análise dos dados do tráfego, de forma contínua, permite ajustes dinâmicos na semaforização, para assim mitigar os congestionamentos e promover uma maior fluidez nas vias. A unificação dos dados relativos ao transporte público com o gêmeo digital possibilita

uma articulação mais eficiente entre as redes de autocarro e metro, o que resulta numa maior pontualidade e fiabilidade dos serviços. Uma otimização que se reflete na redução das emissões de gases com efeito de estufa e na promoção de um ambiente urbano mais limpo e sustentável.

Figura 29 – Exemplo de simulação e análise de mobilidade urbana pelo LICIT-ECO7: Transport and Traffic Engineering Laboratory, que utiliza modelagem e controlo de sistemas de transporte para otimizar a performance e a sustentabilidade urbana.



Fonte: <https://licit-lyon.eu/#about>

Conforme já mencionado nos capítulos anteriores, a transparência e a participação cívica destacam-se entre as vantagens significativas. A implementação de plataformas interativas, associadas ao gémeo digital, pode simplificar o acesso às informações sobre a gestão urbana e assim tornar as operações municipais mais transparentes. As ferramentas de participação online permitem que os residentes expressem as suas opiniões e se integrem ativamente nos processos de tomada de decisão. Uma interatividade que fomenta uma governança mais democrática.

No âmbito do planeamento urbano, destaca-se como uma ferramenta poderosa para simulação e visualização dos cenários do desenvolvimento proposto. Os urbanistas podem recorrer a esta tecnologia para criar modelos tridimensionais que possibilitem a avaliação do impacto antes da implementação no mundo real. Uma funcionalidade que permite antecipar eventuais desafios e tomar decisões ponderadas que equilibrem

o crescimento urbano com a preservação ambiental. A capacidade de pré-visualizar os projetos permite também uma melhor comunicação com os diversas partes interessadas envolvidas, contribuindo para uma maior clareza e apoio aos projetos.

A segurança pública pode ser significativamente melhorada através da utilização de tecnologias digitais avançadas que replicam virtualmente a cidade. A monitorização contínua de áreas críticas permite uma resposta mais ágil a emergências, como acidentes, eventos naturais adversos ou ameaças de segurança. A integração de sistemas de vigilância e sensores ambientais contribui para a identificação e mitigação dos riscos, promovendo uma maior resiliência urbana e segurança dos habitantes.

A sustentabilidade ambiental surge como uma vantagem transversal a muitas das aplicações do gémeo digital. A gestão eficiente dos recursos, a otimização da mobilidade e a capacidade de um planeamento proativo contribuem para a redução do impacto ambiental. A análise contínua de dados relativos à qualidade do ar, a gestão de resíduos e o consumo dos recursos naturais permite desenvolver estratégias mais eficazes para a promoção da sustentabilidade.

No plano económico, a implementação de um gémeo digital tem o potencial de atrair investimentos e impulsionar a inovação. A cidade torna-se um pólo de atração para empresas de tecnologia e startups interessadas no desenvolvimento e teste de soluções inovadoras. Esta dinâmica pode fomentar a criação de novos empregos, impulsionar o crescimento económico local e consolidar a cidade como uma referência na inovação tecnológica.

Com a implementação de um gémeo digital, Vila Nova de Gaia observa uma transformação significativa em várias áreas da gestão urbana. A eficiência na utilização dos recursos torna-se mais visível, assim como a melhoria nos fluxos de mobilidade e o fortalecimento da segurança pública. Além disso, a tecnologia proporciona uma maior transparência nas operações municipais e facilita a participação dos cidadãos nos processos de tomada de decisão, promovendo uma governança mais inclusiva. Contudo, o projeto enfrenta os desafios inerentes à adaptação das infraestruturas

existentes e à conformidade com as exigências regulamentares a nível nacional. A conjugação de uma abordagem inovadora com uma gestão estratégica demonstra ser fundamental para equilibrar o progresso tecnológico com as realidades práticas e regulatórias do contexto atual em Portugal.

6.2 Desvantagens

Potenciais desvantagens e desafios

Embora a implementação de um gémeo digital prometa uma série de benefícios significativos, também é importante reconhecer que o caminho para a concretização deste tipo de projeto está sujeito a desafios consideráveis. Tais iniciativas exigem uma abordagem estratégica que tenha em conta a condição atual da cidade e as complexidades inerentes a qualquer processo de transformação digital em larga escala. É necessário um equilíbrio entre a ambição de modernizar as infraestruturas e a adaptação às realidades operacionais e tecnológicas do contexto local e nacional. A implementação de novas tecnologias, especialmente em áreas urbanas, levanta questões sobre integração e adaptação, tanto no plano técnico quanto na dinâmica social. Dessa forma, refletir sobre os obstáculos potenciais permite preparar respostas e reforça a importância de um planeamento detalhado que tenha em consideração não só os recursos disponíveis, mas também a necessidade da capacitação contínua das equipas envolvidas.

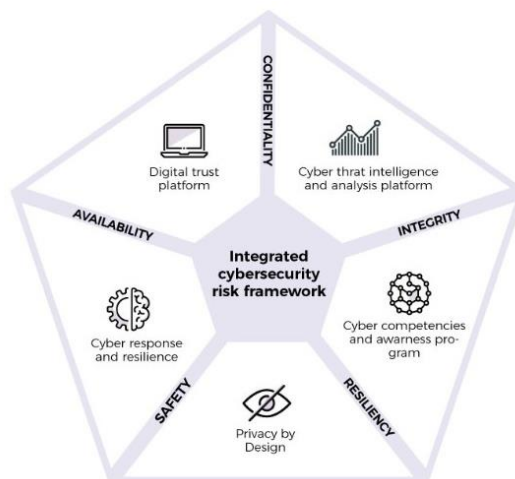
Uma das principais limitações é o elevado investimento necessário para a implementação e manutenção de um sistema sofisticado como este. A instalação de uma rede extensa de sensores IoT, a aquisição de software especializado, a configuração de infraestruturas de armazenamento e processamento de dados, bem como a contratação e formação de trabalhadores qualificados, constituem desafios financeiros significativos. Os custos podem ser particularmente onerosos em contextos de restrições orçamentais, exigindo um planeamento financeiro minucioso e, possivelmente, pode ser necessário explorar parcerias público-privadas de forma a consolidar a viabilidade financeira do projeto a longo prazo.

Um exemplo notável de sucesso de uma parceria público-privada para a implementação de infraestrutura tecnológica avançada é o caso do supercomputador *MareNostrum* em Barcelona. Este projeto, instalado no *Barcelona Supercomputing Center* (BSC), foi desenvolvido através da colaboração entre entidades públicas e privadas que incluem o governo espanhol, a União Europeia e empresas como a IBM. Esta parceria permitiu a criação de uma infraestrutura de ponta que impulsiona a investigação e a inovação em diversas áreas, como a inteligência artificial, previsão meteorológica e simulações urbanas.

A experiência de Barcelona demonstra como as parcerias público-privadas podem ser bem-sucedidas para financiar e manter projetos tecnológicos de grande escala. No contexto de Vila Nova de Gaia, adotar uma abordagem semelhante poderia ajudar a atenuar as pressões orçamentais associadas à implementação de um gémeo digital. Tal modelo de cooperação poderia facilitar a partilha de recursos financeiros e tecnológicos, ao mesmo tempo que promove a inovação e o desenvolvimento de soluções urbanas sustentáveis.

Outro desafio a considerar diz respeito à segurança e privacidade dos dados. A recolha massiva de dados urbanos, quase em contínuo, suscita preocupações sobre a proteção contra ciberataques, para além da responsabilidade de salvaguardar que os dados pessoais dos cidadãos são tratados com a devida ética e em conformidade com os regulamentos de proteção de dados, como o GDPR. Embora a aplicação de medidas robustas de cibersegurança seja imprescindível, não está imune a falhas, o que coloca a administração municipal perante a constante pressão de atualizar e reforçar as suas defesas contra eventuais riscos cibernéticos.

Figura 30 – Modelo integrado de cibersegurança para cidades inteligentes, destacando os principais pilares de proteção de dados e infraestrutura: confidencialidade, integridade, resiliência, segurança e disponibilidade.



Fonte: <https://www.e-zigurat.com/en/blog/cybersecurity-in-smart-cities/>

A complexidade técnica inerente à implementação de um gêmeo digital é outra desvantagem a considerar. A integração de diversas tecnologias avançadas, como a IoT, Big Data, machine learning, realidade aumentada (AR) e realidade virtual (VR), exige um elevado nível de conhecimento técnico e de experiência prática. Conforme mencionado por Redelinghuys et al. (2020), a coordenação eficiente entre estas tecnologias é desafiante devido à falta de padrões universais e à necessidade de uma arquitetura robusta que assegure a interoperabilidade. A ausência de competências adequadas ou falhas na coordenação entre os diferentes componentes tecnológicos pode resultar em atrasos, aumento de custos e, no limite, levar ao fracasso do projeto. Assim, torna-se imprescindível que a equipa envolvida possua as qualificações necessárias, além de uma gestão de projetos eficiente, capaz de coordenar todas as fases da implementação.

A resistência à mudança por parte dos atores envolvidos também pode representar um obstáculo considerável. Os técnicos, administradores e a população podem demonstrar relutância em adotar novas tecnologias, sobretudo se não estiverem plenamente convencidos dos benefícios ou tiverem preocupações sobre a usabilidade e a fiabilidade dos novos sistemas. Para ultrapassar esta resistência, deve ser

promovida uma comunicação clara e consistente, de modo a proporcionar a formação adequada e envolver ativamente todas as partes interessadas desde o início, para superar esta resistência e garantir o apoio ao projeto.

A interoperabilidade entre os sistemas legados e o novo gémeo digital pode representar um desafio, tanto a nível técnico como organizacional, o que pode exigir modificações complexas ou, em certos casos, a substituição total de algumas infraestruturas. A necessidade de integração pode elevar a complexidade e os custos do projeto, além de exigir um planeamento cuidadoso para minimizar interrupções nos serviços urbanos durante a transição, permitindo que a cidade continue a funcionar sem perturbações significativas.

Além dos desafios técnicos e financeiros, é importante abordar as preocupações ambientais inerentes ao uso de novas tecnologias. A produção, instalação e manutenção de equipamentos tecnológicos contribuem para a pegada ecológica do projeto. Segundo estudos sobre o impacto ambiental das infraestruturas tecnológicas, “o ciclo de vida dos dispositivos eletrónicos — da fabricação à eliminação — gera emissões substanciais e contribui para o aumento do consumo energético global”. A adoção de práticas de gestão sustentável, como a reciclagem e a reutilização de componentes, é determinante para minimizar os efeitos ambientais associados à implementação do projeto.

Em termos de sustentabilidade a longo prazo, a dependência contínua de atualizações tecnológicas e a manutenção pode representar um desafio adicional. Dado o ritmo acelerado da evolução digital, o gémeo digital deverá ser periodicamente renovado para manter-se funcional e cumprir os níveis de exigência. A exigência de atualizações regulares implica custos recorrentes e requer uma gestão atenta para evitar que o sistema se torne obsoleto.

Em conclusão, embora a implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia ofereça oportunidades significativas para melhorar a gestão urbana, existem desvantagens e desafios que devem ser cuidadosamente ponderados. O elevado

investimento, a complexidade técnica, as questões de segurança e privacidade, a resistência à mudança, a interoperabilidade dos sistemas e as preocupações ambientais são aspetos relevantes que requerem uma gestão eficaz. No contexto português, onde os esforços de digitalização e a redução da burocracia estão a ganhar impulso, este tipo de projeto pode complementar as iniciativas nacionais e assim promover uma maior eficiência e transparência nos processos urbanos. Além disso, o compromisso com a sustentabilidade, alinhado com os objetivos nacionais e europeus, torna-se relevante para garantir um desenvolvimento urbano mais consciente. Com um planeamento detalhado, uma gestão de projeto competente e uma abordagem inclusiva, é possível superar os desafios, permitindo à cidade e aos seus habitantes beneficiar plenamente das potencialidades desta tecnologia.

7. Caso prático: Submissão e apreciação de projetos online

7.1 Descrição do processo atual

No contexto português, e especificamente em Vila Nova de Gaia, o processo de submissão e apreciação de projetos urbanísticos é caracterizado por uma série de etapas burocráticas que envolvem múltiplos intervenientes e requerem a conformidade com um vasto conjunto de regulamentações legais e técnicas. A descrição do processo atual revela tanto as suas complexidades como as áreas onde é possível introduzir melhorias através da implementação de soluções tecnológicas.

Submissão de projetos

Atualmente, a submissão dos projetos inicia-se com a apresentação de um pedido formal à Gaiurb, a entidade responsável pela gestão urbanística da cidade. O pedido pode ser entregue presencialmente ou, mais recentemente, através de plataformas digitais como o Balcão Virtual. O requerente deve apresentar uma série de documentos, incluindo plantas, mapas, estudos de impacto ambiental e pareceres técnicos, conforme estipulado pela legislação em vigor.

Requisitos documentais

Os projetos submetidos devem responder a um conjunto detalhado de requisitos documentais, que variam conforme a tipologia e a dimensão do projeto. Os documentos incluem:

- Plantas topográficas e arquitetónicas;
- Estudos de impacto ambiental;
- Relatórios de viabilidade técnica e económica;
- Pareceres de entidades externas, como os serviços de água e saneamento, eletricidade e telecomunicações.

Após a submissão, o projeto passa por um processo de apreciação que envolve várias fases de revisão técnica e legal. Inicialmente, o projeto é avaliado pelos técnicos da Gaiurb para verificar a conformidade com o Plano Diretor Municipal (PDM) e outras regulamentações locais aplicáveis. A análise inclui a verificação da adequação do uso do solo, o cumprimento das normas de construção e a avaliação do impacto ambiental.

Intervenção de entidades externas

Durante o processo de apreciação, pode ser necessário obter pareceres de outras entidades externas, como os serviços de proteção civil, organismos responsáveis pela gestão de infraestruturas e outras entidades públicas. Estes pareceres são necessários para confirmar que o projeto cumpre com todas as normas relativas à segurança, acessibilidade e sustentabilidade.

Processo de aprovação

Após a análise técnica e a obtenção dos pareceres requeridos, o projeto é submetido à apreciação dos órgãos decisórios da Gaiurb. O processo pode incluir reuniões com comissões técnicas e, em alguns casos, audiências públicas para debater o impacto do projeto com a comunidade local. A decisão final pode resultar na aprovação, num pedido de modificações ou na rejeição do projeto.

Comunicação com os requerentes

A Gaiurb recorre a plataformas digitais para manter os requerentes atualizados sobre o estado do seu pedido, permitindo a consulta online dos pareceres técnicos e decisões administrativas. No entanto, apesar dos progressos, ainda existem desafios na

eficiência e na rapidez da comunicação, muitas vezes devido à necessidade de uma melhor integração dos dados e sistemas entre as diferentes entidades.

Desafios identificados

Apesar dos progressos na digitalização e modernização do processo, ainda existem vários desafios. A fragmentação dos sistemas de informação, a falta de interoperabilidade entre diferentes plataformas e a complexidade dos requisitos documentais apresentam obstáculos consideráveis. Para além disso, a burocracia e a multiplicidade de etapas podem originar atrasos consideráveis na aprovação dos projetos.

Potencial para melhorias

A implementação de um gémeo digital, em Vila Nova de Gaia, oferece um potencial significativo para superar os desafios existentes. O sistema poderia centralizar todos os dados e processos num único ambiente digital, facilitando a integração e a análise em tempo real. A utilização da inteligência artificial para análises de conformidade e previsão dos impactos pode agilizar o processo de apreciação e reduzir a margem de erro humano. Adicionalmente, a transparência e a acessibilidade das informações poderiam ser melhoradas, promovendo uma comunicação mais fluida entre todos os intervenientes.

Sintetizando, o processo atual de submissão e apreciação dos projetos urbanísticos, em Vila Nova de Gaia, embora robusto e detalhado, apresenta áreas significativas para otimização através da adoção de tecnologias mais avançadas. A transição para um sistema mais integrado e inteligente não só melhoraria a eficiência e a funcionalidade dos procedimentos, como também contribuiria para um desenvolvimento urbano mais transparente.

7.2 Vantagens da implementação digital com recurso a AI

A implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia, com a integração de tecnologias de ponta como a inteligência artificial (IA), apresenta o potencial para transformar profundamente os processos urbanísticos, o que conduz a benefícios que se estendem da eficiência operacional à sustentabilidade ambiental. De seguida, são exploradas as principais vantagens desta solução, ao detalhar como um gémeo digital pode reconfigurar e otimizar o processo de submissão e apreciação de projetos urbanísticos.

Eficiência e simplificação dos processos

A digitalização e automação dos processos urbanísticos, promovida pela implementação de um gémeo digital, representa uma das principais vantagens desta tecnologia. Atualmente, a submissão de projetos exige a entrega de vários documentos e a passagem por múltiplas etapas burocráticas, que podem ser significativamente simplificadas. Com o gémeo digital, os dados são introduzidos num sistema centralizado, onde podem ser automaticamente verificados quanto à conformidade com as regulamentações. A inteligência artificial pode analisar rapidamente grandes volumes de dados, identificando inconformidades e sugerindo correções, o que reduz substancialmente o tempo de revisão pelos técnicos e acelera o processo de aprovação.

A integração eficiente dos sistemas na Gaiurb foi um dos aspetos destacados. A combinação do Balcão Virtual, Geoportal e o Sistema de Informação Geográfica Municipal de Gaia (Smig.Gaia) exemplifica uma abordagem abrangente à gestão da informação urbana. Esta conjugação possibilita uma partilha de dados fluida entre diferentes estruturas municipais, o que favorece uma tomada de decisão mais fundamentada.

Além dessas tecnologias, a crescente adoção do Building Information Modeling (BIM) surge como uma tendência significativa na gestão urbanística. Conforme destacado por Carla Pires, o BIM permite a criação de modelos digitais detalhados de edifícios e infraestruturas, sendo uma ferramenta essencial para o planeamento, construção e gestão de projetos. A integração do BIM melhora a precisão e a coordenação entre diferentes disciplinas e fases do desenvolvimento, resultando em maior clareza e eficiência no processo. O BIM, assim como outras tecnologias digitais, contribui para a transformação e modernização dos processos urbanísticos em Vila Nova de Gaia.

A interoperabilidade entre sistemas contribui para uma governança urbana mais eficiente, onde os dados são centralizados e acessíveis, e reforça a coordenação entre departamentos e a capacidade de resposta às necessidades dos cidadãos.

Integração e coordenação dos sistemas

O gémeo digital possibilita a unificação de vários sistemas de informação urbana, como o Balcão Virtual, Geoportal, SIG (Sistema de Informação Geográfica) e Smig.Gaia. Uma integração que facilita a partilha de dados e promove a coordenação entre diferentes departamentos municipais e entidades externas, incluindo os serviços de água, saneamento e eletricidade. Ao centralizar os dados num único sistema digital, é possível obter uma visão holística do estado dos projetos e das infraestruturas urbanas, que melhora a coordenação e evita redundâncias.

Foram igualmente discutidos os esforços nacionais direcionados ao desenvolvimento de uma plataforma única para centralizar os processos urbanísticos. Esta iniciativa visa harmonizar os procedimentos administrativos em todo o território nacional, facilitando a colaboração entre diferentes municípios e entidades. A centralização dos processos procura reforçar a eficiência, promover uma maior transparência e acessibilidade. Este avanço representa um passo significativo na simplificação e agilização dos trâmites urbanísticos a nível nacional.

Monitorização em tempo real e previsão dos impactos

Através da utilização de sensores IoT e da análise de dados em tempo corrente, esta tecnologia pode monitorizar continuamente o estado das infraestruturas e o progresso dos projetos em desenvolvimento. A IA permite antever os impactos futuros e identificar potenciais problemas antes que se tornem críticos. Por exemplo, pode-se prever o impacto do tráfego causado por um novo empreendimento habitacional ou a sobrecarga nas infraestruturas de saneamento, permitindo a tomada de medidas preventivas para mitigar esses efeitos.

Transparência e participação pública

A implementação de um gémeo digital também promove uma maior transparência nos processos urbanísticos. A população e as diferentes partes interessadas podem aceder a informações atualizadas sobre o estado dos projetos, visualizar modelos tridimensionais (3D) dos desenvolvimentos propostos e ter um papel mais ativo nas decisões relacionadas com o planeamento urbano. Ferramentas de realidade aumentada (AR) e realidade virtual (VR) podem ser usadas para criar representações visuais imersivas dos projetos, para permitir a compreensão e um envolvimento mais profundo da comunidade.

Sustentabilidade e gestão de recursos

Um gémeo digital contribui para uma gestão mais sustentável dos recursos urbanos. A capacidade de monitorizar e otimizar o uso de energia, água e outras infraestruturas essenciais em tempo real permite uma gestão mais eficiente e reduz o desperdício. De igual modo, a análise de dados históricos e a capacidade de prever tendências proporcionam uma melhor planeamento do crescimento urbano, para que o desenvolvimento futuro se alinhe com os objetivos ambientais da cidade.

Implementação de tecnologias avançadas: BIM, Cypeurban e Chekbdp

A implementação do Building Information Modeling (BIM) torna-se mais eficiente com a integração de um gémeo digital. O BIM permite a criação de modelos digitais detalhados dos edifícios e infraestruturas, o que melhora a precisão e a coordenação entre diferentes fases do projeto. Ferramentas como o Cypeurban e o Chekbdp podem ser integradas no gémeo digital, de modo a proporcionar funcionalidades avançadas para modelação, análise e verificação da conformidade dos projetos. Tratam-se de ferramentas que ajudam a certificar que todos os aspetos técnicos e regulamentares são cumpridos, elevando a qualidade e a segurança dos projetos urbanísticos.

“Os gémeos digitais são ferramentas que contribuem significativamente para a eficiência das operações urbanas, permitindo uma gestão sustentável dos recursos e uma maior transparência nos processos de decisão.” *(Allam e Jones, 2021)*

A implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia, suportada por inteligência artificial e outras tecnologias de ponta, oferece um percurso para a modernização dos processos urbanísticos. Entre as principais vantagens, destacam-se a maior eficiência e simplificação das operações, uma integração mais eficaz e coordenação fluida entre sistemas, assim como a monitorização contínua de infraestruturas. O impacto destas transformações vai além da agilização dos processos de submissão e apreciação de projetos, mas também promovem um desenvolvimento urbano mais inteligente e sustentável.

8. Conclusão

8.1 Síntese dos resultados

A dissertação procurou analisar de que forma a tecnologia pode ser empregue para melhorar, simplificar e tornar mais eficientes os processos urbanísticos dos processos urbanísticos, com foco na cidade de Vila Nova de Gaia. Através da implementação de um gémeo digital, o estudo explorou o potencial da inteligência artificial para agregar e analisar informações, com o objetivo de promover uma gestão mais eficiente e impulsionar um desenvolvimento urbano sustentável.

Principais descobertas da investigação

Estado atual dos processos urbanísticos em Vila Nova de Gaia

A análise dos métodos atuais de submissão e apreciação de projetos em Vila Nova de Gaia revelou desafios substanciais relacionados com a burocracia e a ineficiência. Os procedimentos tradicionais, ainda baseados predominantemente no uso de papel, causam atrasos, aumentam os custos operacionais e geram frustração tanto para técnicos como para cidadãos. Contudo, Gaia já alcançou progressos significativos, especialmente com a primeira fase da eliminação do papel nos processos urbanísticos. Esta etapa inicial permitiu a modernização de várias tarefas administrativas, contribuindo para uma maior agilidade e redução de custos.

Apesar desses avanços, ainda se aguarda a implementação da segunda fase, que deverá tirar pleno proveito da desmaterialização. Uma fase que envolve um uso mais aprofundado das ferramentas digitais para análises automatizadas e processos mais eficientes, o que permitirá otimizar ainda mais a gestão urbanística e melhorar a resposta às necessidades da população e dos profissionais envolvidos.

Potencial dos gémeos digitais no urbanismo

O conceito de gémeo digital, que consiste numa réplica virtual precisa e dinâmica da cidade, demonstra ser uma ferramenta de grande relevância para a gestão urbana contemporânea. Ao integrar tecnologias como a IoT, Big Data, Machine Learning, Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR), as soluções digitais permitem uma monitorização contínua e uma análise pormenorizada do ambiente urbano. Uma abordagem que torna possível uma tomada de decisão mais fundamentada e ágil, estimular a eficiência operacional e promover práticas mais sustentáveis na gestão das cidades.

Modelo de implementação para Vila Nova de Gaia

A pesquisa propôs um modelo de implementação que envolve uma infraestrutura tecnológica robusta, composta por sensores IoT para a recolha de dados de forma contínua, sistemas de Big Data para o armazenamento e análise das informações, e algoritmos de Machine Learning, focados em previsões e otimização dos processos. O modelo sublinha, igualmente, a importância de uma equipa multidisciplinar, composta por engenheiros de dados, especialistas em tecnologias da informação, data scientists e gestores de projetos, de modo a permitir uma implementação eficiente e bem coordenada.

Benefícios da implementação de gémeos digitais

As principais vantagens identificadas incluem a melhoria da eficiência dos processos, a redução da burocracia e o aumento da transparência governamental. A capacidade de simular diferentes cenários urbanos e prever tendências permite uma distribuição mais eficiente dos recursos, que melhora a qualidade dos serviços públicos e a satisfação dos cidadãos. Uma tecnologia que pode contribuir para a sustentabilidade urbana, promovendo uma gestão mais responsável dos recursos naturais e energéticos.

Desafios e limitações

A implementação de gémeos digitais enfrenta desafios consideráveis, que incluem as questões relacionadas com segurança e privacidade dos dados, a necessidade de infraestruturas tecnológicas sofisticadas e a formação contínua de recursos humanos. A resistência à mudança e os elevados custos iniciais representam outro conjunto de desafios que exigem atenção para que o projeto possa ser implementado com sucesso.

Impacto ambiental e sustentabilidade

A tecnologia dos gémeos digitais pode desempenhar um papel determinante na promoção da sustentabilidade urbana. Ao permitir uma gestão otimizada dos recursos e a simulação de diferentes cenários ambientais, contribuem para a minimizar o impacto ecológico das atividades urbanas e a promover práticas de desenvolvimento sustentável, mais equilibradas com o meio ambiente.

Envolvimento e participação da comunidade

A pesquisa sublinhou a relevância de envolver a comunidade local no processo de implementação e no usufruto das vantagens associadas ao gémeo digital. Foram abordadas várias estratégias para incentivar a participação cívica, com ênfase na necessidade de transparência numa comunicação clara e eficaz. Abordagens que reforçam a importância de construir um diálogo contínuo com os cidadãos, de modo a garantir que os interesses e preocupações da comunidade sejam devidamente considerados.

A dissertação conclui que a implementação de gémeos digitais em Vila Nova de Gaia tem o potencial de transformar profundamente a gestão urbana, promovendo um desenvolvimento mais eficiente, funcional e sustentável. Uma transformação que está alinhada com os esforços já em curso de modernização e desmaterialização dos

processos, especialmente na gestão urbanística e na introdução de plataformas digitais. Estes progressos iniciais revelam um compromisso com a inovação e a melhoria dos serviços públicos, preparando o terreno para uma futura integração de tecnologias como os gémeos digitais, que podem alavancar ainda mais a eficiência e a sustentabilidade.

No contexto nacional, o uso crescente da tecnologia como motor de desenvolvimento reflete-se na aposta de Portugal em projetos como o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), que prioriza a transformação digital como um dos pilares para impulsionar a economia. O governo tem enfatizado a importância de um salto tecnológico, com foco na digitalização dos serviços públicos, na modernização das infraestruturas urbanas e na competitividade das cidades. A implementação de gémeos digitais não só acompanha estas diretrizes, como também coloca Vila Nova de Gaia numa posição de vanguarda tecnológica, ao oferecer uma base sólida para que outras cidades portuguesas sigam o mesmo caminho.

No cenário internacional, a implementação dos gémeos digitais nas cidades de referência, como Barcelona e Singapura, sublinha a relevância desta tecnologia no âmbito global. Ao integrar tecnologias de ponta, Vila Nova de Gaia não só fortalece o seu papel no cenário nacional, mas também se alinha com as tendências globais, assegurando que se mantém competitiva e à altura das exigências do futuro.

A pesquisa, portanto, fornece uma base promissora para futuros projetos, demonstrando que, com a abordagem certa e a superação dos desafios técnicos e organizacionais, é possível fomentar um salto tecnológico decisivo para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e impulsionar o desenvolvimento urbano e económico de forma sustentável.

8.2 Recomendações

A implementação de um gémeo digital em Vila Nova de Gaia destacou-se como um exemplo ilustrativo de como a tecnologia pode inovar a gestão urbana. Com base nos

resultados obtidos e nas dificuldades enfrentadas ao longo deste processo, são sugeridas várias recomendações que podem orientar futuras implementações e estudos no campo dos processos urbanísticos digitais.

Fortalecimento da infraestrutura tecnológica

Para que os gémeos digitais possam ser efetivamente implementados, impõe-se um investimento contínuo na infraestrutura tecnológica. Um esforço que inclui a atualização regular dos sensores IoT, a expansão das capacidades de armazenamento em nuvem e a melhoria dos sistemas de rede para garantir a conectividade ininterrupta. A transição para redes 5G, por exemplo, pode melhorar de forma substancial a velocidade e a fiabilidade na transmissão de dados em alta resolução em tempo real.

Capacitação e formação de recursos humanos

O sucesso na implementação depende não apenas da tecnologia mas também da qualificação dos recursos humanos. Programas de formação especializada devem ser disponibilizados regularmente a técnicos e agentes envolvidos no projeto, para que possam manter-se atualizados com as mais recentes ferramentas e metodologias. Iniciativas como workshops, seminários e cursos especializados na análise de dados, inteligência artificial e gestão de projetos podem ser extremamente vantajosas.

Envolvimento comunitário e transparência

A participação dos cidadãos no processo de implementação assume um papel determinante para o êxito da iniciativa. Devem ser delineadas estratégias que promovam o envolvimento ativo da população, como a realização de consultas públicas, a disponibilização de plataformas que permitam o envio de feedback, e a partilha aberta de dados urbanos, num exercício de total transparência.

Adicionalmente, ferramentas de visualização, como a realidade aumentada (AR) e a realidade virtual (VR), podem ser exploradas para envolver a comunidade de um modo mais interativo.

Segurança e privacidade dos dados

A proteção dos dados é uma questão extremamente relevante, especialmente no contexto de soluções digitais avançadas. Devem ser implementadas medidas eficazes de cibersegurança para salvaguardar as informações contra eventuais ciberataques e assegurar a privacidade dos dados pessoais dos cidadãos. A conformidade com regulamentos de proteção de dados, como o GDPR, deve ser tratada como uma prioridade. O uso de tecnologias de criptografia, autenticação multifatorial e sistemas de monitorização contínua contribui para mitigar potenciais riscos.

Integração de tecnologias emergentes

A inteligência artificial (IA) e o machine learning (ML) podem ser aplicados em análises preditivas e na otimização dos processos, permitindo antecipar comportamentos e necessidades. O Blockchain, por sua vez, pode fornecer um nível adicional de segurança e transparência nas transações de dados, reforçando a integridade das operações. A realidade aumentada (AR) e a realidade virtual (VR) também podem ser incorporadas para melhorar a visualização e a interação com os dados urbanos.

Desenvolvimento de parcerias público-privadas

A formação de parcerias entre o setor público e o privado pode desempenhar um papel relevante na implementação de gémeos digitais. Tais parcerias podem fornecer os recursos financeiros e tecnológicos necessários, além de fomentar a inovação. Colaborações com universidades e centros de investigação também podem

acrescentar valor ao projeto, ao introduzir inovação e contribuir com conhecimento técnico aprofundado.

Monitorização e avaliação contínua

É importante estabelecer mecanismos de monitorização e avaliação contínua para acompanhar o desempenho do sistema e verificar que esteja a cumprir os objetivos propostos. Devem ser definidos indicadores de desempenho que sejam reavaliados periodicamente para identificar as áreas que necessitem de melhoria. A realização de auditorias frequentes pode ajudar a confirmar que o sistema se mantenha seguro, eficiente e adequado às exigências do ambiente urbano em constante mudança.

Expansão do uso de gémeos digitais

Finalmente, recomenda-se explorar a expansão do uso de gémeos digitais para outras áreas que vão além do urbanismo, como na saúde, educação e segurança pública. A integração de diferentes setores pode criar um ecossistema urbano interligado e inteligente, proporcionando uma gestão mais holística da cidade. Uma abordagem que permitirá uma coordenação mais ampla entre as várias áreas de intervenção urbana, com um impacto positivo na eficiência dos serviços e na qualidade de vida da população.

Concluindo, as recomendações delineadas visam não apenas o reforço da infraestrutura tecnológica, a capacitação de recursos humanos ou a segurança de dados, mas sublinham, sobretudo, a importância de incorporar uma visão integrada. A implementação dos gémeos digitais e a exploração de outras tecnologias emergentes requerem um compromisso constante com a inovação, a flexibilidade e a abertura a soluções que, mesmo que não sejam adotadas na totalidade, podem inspirar melhorias substanciais. Adicionalmente, recomenda-se que futuros estudos aprofundem o impacto destes sistemas e outras tecnologias emergentes, reconhecendo a relevância de manter-se na vanguarda tecnológica e de promover um ambiente propício à

experimentação. A procura contínua por soluções inovadoras e a consideração de tecnologias de ponta, mesmo que não implementadas integralmente, podem trazer contributos pertinentes ao processo de transformação urbana, e estimular o desenvolvimento de Vila Nova de Gaia e outras cidades que aspirem a uma modernização dos processos urbanísticos.

8.3 Considerações finais

Ao longo deste estudo, foi examinado o potencial transformador da implementação de gémeos digitais na gestão urbanística, tendo como caso de estudo a cidade de Vila Nova de Gaia. A investigação procurou compreender como a integração de tecnologias emergentes, em particular a inteligência artificial, a Internet das Coisas (IoT) e o Big Data, pode revolucionar a forma como as cidades são planeadas e geridas. O estudo abordou as vantagens tangíveis que resultam de uma maior eficiência, transparência e sustentabilidade, mas também os desafios e a complexidade que acompanha qualquer processo de inovação em larga escala.

As conclusões apresentam-se como bastante promissoras, revelando um horizonte promissor para a aplicação de gémeos digitais no contexto urbano, tendo sido evidenciada a capacidade para fornecer uma abordagem holística e interconectada da gestão urbana. As vantagens identificadas - desde a monitorização em tempo real das infraestruturas até a uma maior participação cívica e a uma redução do impacto ambiental - ilustram como esta tecnologia pode redefinir o futuro das cidades inteligentes. Vila Nova de Gaia, com esforços reconhecidos na desmaterialização e digitalização de processos urbanísticos, já demonstrou a vontade de embarcar num percurso de modernização, posicionando-se como um contexto adequado para a implementação de soluções digitais sofisticadas.

O papel do Mestrado em Desafios das Cidades

A elaboração deste estudo foi profundamente influenciada pelo percurso no Mestrado em Desafios das Cidades, que teve um impacto significativo no desenvolvimento do meu pensamento acerca das temáticas abordadas. O programa académico proporcionou-me uma compreensão mais ampla das dinâmicas urbanas, ao reunir colegas e especialistas de diferentes áreas do conhecimento. A interdisciplinaridade, promovida de forma consistente ao longo do curso, ajudou a expandir a minha visão sobre o urbanismo, mostrando que os desafios das cidades contemporâneas não podem ser solucionados de forma isolada, mas sim através de uma abordagem colaborativa e transversal.

O diálogo constante com colegas de diversas áreas - desde a engenharia, arquitetura, sociologia, até às ciências ambientais e tecnológicas - foi uma experiência enriquecedora que me fez crescer tanto profissional como pessoalmente. As trocas de ideias e perspetivas ajudaram-me a compreender que a verdadeira inovação e sustentabilidade urbana não dependem apenas dos avanços tecnológicos, mas da conjugação de várias disciplinas e da articulação entre elas. O Mestrado em Desafios das Cidades deixou raízes profundas ao reforçar a ideia de que uma visão sustentável é, por natureza, holística, abrangendo todos os aspetos da vida urbana e exigindo um equilíbrio entre tecnologia, ambiente, cultura e as necessidades humanas.

Foi neste contexto que a minha compreensão sobre os gémeos digitais e o seu potencial impacto na gestão das cidades evoluiu para além de uma simples aplicação tecnológica. A interação com diferentes perspetivas fez-me perceber que uma verdadeira transformação digital no urbanismo deve também estar enraizada em valores sociais e éticos, com a promoção de uma cidade inclusiva e resiliente.

Desafios e perspetivas futuras

Todavia, ao refletir sobre o percurso delineado, é importante reconhecer que a inovação tecnológica raramente é isenta de obstáculos. A elevada complexidade

técnica envolvida, os custos substanciais associados à implementação e manutenção das infraestruturas digitais, assim como as questões sensíveis relacionadas com a segurança e privacidade dos dados, são aspetos que requerem uma atenção contínua. A resistência à mudança, observada em diferentes níveis de administração e entre os próprios cidadãos, constitui outro desafio significativo. Superar estes obstáculos exigirá uma abordagem estratégica focada no diálogo aberto, na educação tecnológica e na construção de uma confiança partilhada entre todos os intervenientes.

Para além disso, à medida que nos aproximamos da era digital, as cidades enfrentam uma dicotomia: o desejo de inovação versus as limitações impostas pela realidade económica e social. Após este estudo, ficou evidente que o sucesso na implementação dos gémeos digitais depende de uma conjugação delicada entre o progresso tecnológico e a adaptação à realidade local. A robustez do planeamento, a formação de parcerias estratégicas e uma governação colaborativa são fatores cruciais para alcançar uma implementação bem-sucedida.

Reflexão sobre o papel da tecnologia no futuro das cidades

Por último, este estudo levanta uma questão mais ampla e profunda sobre o papel que a tecnologia deve desempenhar na configuração do futuro das cidades. Enquanto as inovações tecnológicas prometem criar cidades mais inteligentes, também se impõe uma reflexão crítica sobre o impacto social e ético destas mudanças. A digitalização deve ser acompanhada por um compromisso com a inclusão social, com o objetivo de assegurar que todos os cidadãos possam tirar proveito dos avanços tecnológicos, sem exacerbar desigualdades ou marginalizar comunidades.

Concluindo, a implementação dos gémeos digitais apresenta um caminho promissor para o desenvolvimento urbano moderno, e Vila Nova de Gaia encontra-se numa posição favorável para liderar esta transição no contexto português. Este estudo contribui com uma análise informada sobre as oportunidades e desafios que tal

tecnologia implica, e evidencia a necessidade de investigações futuras para aprofundar o impacto real desta iniciativa. Esta é apenas a primeira etapa de um percurso, mas as bases estão já criadas para a transformação da cidade numa referência de eficiência e sustentabilidade.

Referências Bibliográficas

BATTY, Michael. *The New Science of Cities*. Cambridge: MIT Press, 2018. ISBN 978-0262019843.

BROWN, L. *Sustainable Digital Technologies in Urban Planning*. London: GreenTech Publications, 2020.

CAREY, Peter. *European Data Protection: Law and Practice*. Oxford: Oxford University Press, 2018. ISBN 978-0198815418.

FORTE, Maurizio. *Digital Cities: Between History and Archaeology*. Oxford: Oxford University Press, 2020. ISBN 978-0190499197.

GRIEVES, Michael. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Boca Raton: CRC Press, 2014. ISBN 978-1466584318.

GRIEVES, Michael. *Virtually Perfect: Driving Innovation and Lean with Digital Twins*. Cocoa Beach: Space Coast Press, 2014. ISBN 978-0-692-24646-2.

JONES, M. *Digital Twins in Smart Cities: Leveraging AI for Urban Development*. London: UrbanTech Publishing, 2021. ISBN 978-1-23456-789-0.

MIRANDA, Paulo. *Gestão Urbana e Tecnologia: Integrando Inovações no Urbanismo*. Lisboa: Editora UrbanTec, 2019. ISBN 978-989-12345-6-7.

SCHNEIDER, P.; AKHTAR, P. *Privacy and Data Protection in the Era of Digital Transformation*. New York: TechPress, 2020. ISBN 978-0198856541.

SILVA, J. *Transformação Digital em Cidades Inteligentes*. Porto: Editora Científica, 2021.

TAO, F., et al. *Digital Twin in Industry: State-of-the-Art*. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2019.

TOWNSEND, Anthony M. *The Smart City: Urban Life and Innovation in the 21st Century*. New York: W. W. Norton & Company, 2013. ISBN 978-0393082876.

UKONU, C. *4 Ways AI Can Super-Charge Sustainable Development*. *World Economic Forum*, 2023, disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2023/11/ai-sustainable-development/>. Acesso em: 13 nov. 2023.

McGRATH, A. *10 Ways Artificial Intelligence Is Transforming Operations Management*. *IBM Blog*, 2024, disponível em: <https://www.ibm.com/blog/ai-in-operations-management/>. Acesso em: 11 jul. 2024.

TOTVS. *Digital Twin: Como Funciona, Benefícios e Áreas de Aplicação*. São Paulo: TOTVS, 2020, disponível em: <https://www.totvs.com>. Acesso em: 16 out. 2024.

The Economist. *Digital Twins Are Fast Becoming Part of Everyday Life*. *The Economist*, 2024, disponível em: <https://www.economist.com/leaders/2024/08/29/digital-twins-are-fast-becoming-part-of-everyday-life>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Apêndices

Apêndice 1 – Entrevista com a arquiteta Carla Pires

Apêndice 1

Entrevista com Carla Pires · Chefe de divisão de Sustentabilidade e Inovação · Gaiurb

A entrevista com a arquiteta Carla Pires, Chefe da Divisão de Sustentabilidade e Inovação da Gaiurb, ofereceu uma perspectiva aprofundada sobre as práticas inovadoras implementadas pela Gaiurb na gestão urbanística de Vila Nova de Gaia. A conversa centrou-se em cinco pilares fundamentais: a desmaterialização dos processos urbanísticos, eficiência e integração dos sistemas, avanços na informação geográfica, progressos a nível nacional e o compromisso com a inovação contínua.

Durante a entrevista, foi destacado que a desmaterialização dos processos urbanísticos representa uma iniciativa essencial para aumentar a eficiência e promover a sustentabilidade na gestão urbana. A implementação de ferramentas digitais, como o Balcão Virtual e o NoPaper, foi apresentada como um exemplo bem-sucedido. Estas ferramentas permitem a submissão e gestão digital de documentos e processos urbanísticos, eliminando a necessidade de papeis físicos e, o que resulta na redução dos custos operacionais e do tempo de resposta. De igual modo, contribuem significativamente para uma administração mais sustentável, ao diminuir o consumo de papel e promover uma administração mais verde.

Outro ponto fundamental abordado foi a integração eficiente dos sistemas. A Gaiurb implementou uma abordagem abrangente na gestão da informação urbana, que integra várias plataformas como o Balcão Virtual, o Geoportal e o Sistema de Informação Geográfica Municipal de Gaia (Smig.Gaia). A integração permite uma partilha de dados fluida entre diferentes estruturas municipais, proporcionando uma base mais sólida para a tomada de decisões e uma melhoria da governança urbana. A robustez e boa coordenação da infraestrutura de dados robusta não só otimiza os procedimentos internos como também reforça a capacidade de resposta às necessidades dos cidadãos e profissionais envolvidos nos processos urbanísticos.

Durante a entrevista, Carla Pires destacou os avanços substanciais alcançados pela Gaiurb na utilização de ortofotomapas e nas funcionalidades do Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do Smig.Gaia. Tais ferramentas desempenham um papel vital ao oferecer uma visão detalhada e atualizada do desenvolvimento urbano. A capacidade de visualizar o desenvolvimento urbano ao longo do tempo, através dos ortofotomapas, e a disponibilização de dados geográficos precisos são exemplos claros de como a tecnologia pode apoiar a preservação da memória urbana e informar o planejamento futuro. Recursos que se revelam indispensáveis para uma gestão territorial eficiente, promovendo um desenvolvimento urbano mais informado e sustentável.

Foram também destacados os esforços em curso a nível nacional para desenvolver uma plataforma única que centralize os processos urbanísticos. O projeto tem como objetivo uniformizar e simplificar os procedimentos administrativos em todo o país, facilitando a colaboração entre municípios e diferentes entidades governamentais. A centralização dos processos promete não só aumentar a eficiência, mas também promover maior transparência e acessibilidade, com vantagens para todas as partes envolvidas.

Além das ferramentas já implementadas, foi discutido o potencial de algumas ferramentas disponíveis no mercado, como o Cypeurban e o Chekdbp, que podem complementar as soluções urbanísticas já em uso na Gaiurb. O Cypeurban, por exemplo, disponibiliza funcionalidades de modelação e análise que podem otimizar o planejamento urbano, enquanto o Chekdbp oferece capacidades de verificação e validação de dados, garantindo a precisão e a conformidade dos projetos urbanísticos.

Por fim, Carla Pires ressaltou o compromisso contínuo da Gaiurb com a inovação, demonstrando uma constante procura por soluções de software e melhores práticas disponíveis no mercado. A abertura para a adoção de tecnologias mais avançadas reflete o compromisso da empresa com a modernização e a otimização da gestão urbana. A Gaiurb reconhece a importância de acompanhar as últimas tendências

tecnológicas e permanece disposta a investir em novas soluções que possam contribuir para uma maior eficiência e eficácia das suas operações.