

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

http://cneg.org/anais/artigo.php?e=CNEG2023&c=CNEG_PT_024_0302_23042

DOI: https://doi.org/10.14488/cneg2023_cneg_pt_024_0302_23042

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2023 by Associação Brasileira de Engenharia de Produção. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

CIDADES INTELIGENTES GÊMEAS DIGITAIS: EVOLUÇÃO HISTÓRICA E APLICAÇÕES URBANAS CONTEMPORÂNEAS

João Carlos dos Santos Nogueira da Silva

Universidade Estadual de Campinas – FCA; j146612@dac.unicamp.br

Enido Fabiano Ramos

Universidade Estadual de Campinas – FCA; e225451@dac.unicamp.br

Ieda Kanashiro Makiya

Universidade Estadual de Campinas – FCA; iedakm@unicamp.br

Francisco Ignácio Giocondo César

Universidade Estadual de Campinas – FCA; giocondo.cesar@gmail.com

Resumo: Neste artigo apresentamos um paralelismo sobre as técnicas de gêmeos digitais, sua aplicação na indústria 4.0 e seu espelhamento de uso nas cidades inteligentes gêmeas digitais em diferentes países, através de alguns casos práticos numa timeline, segundo foram explorados e citados em estudos acadêmicos. Exposto pela primeira vez em 2003 os gêmeos digitais, empresas e governos estão lançando mão sobre essa tecnologia, buscando alinhar-se às tecnologias de informação (TIC), visualizando no horizonte que o caminho da gestão de ativos urbanos e empreendimentos privados podem ser beneficiados por ela, e compreendê-la é trabalhar para desenvolver uma cidade inteligente. À medida que os desafios na administração urbana crescem em decorrência da dinâmica social, as ferramentas de TI, IoT, computação em nuvem, internet 5g são facilitadores na transformação de uma cidade inteligente em um gêmeo digital. Debates como as principais tecnologias, características dos cenários de aplicação de um gêmeo digital, podem mudar as regras do jogo, trouxemos direções de pesquisas futuras e limitações na aplicação.

Palavras-chave: Gêmeos Digitais; Cidades Inteligentes; Indústria 4.0; Cidades Inteligentes Gêmeas Digitais.

EMBLEMATIC CASES OF SMART DIGITAL TWIN CITIES, A JOURNEY THROUGH TIME

João Carlos dos Santos Nogueira da Silva

Campinas State University – FCA; j146612@dac.unicamp.br

Enido Fabiano Ramos

Campinas State University – FCA; e225451@dac.unicamp.br

Ieda Kanashiro Makiya

Campinas State University – FCA; iedakm@unicamp.br

Francisco Ignácio Giocondo César

Campinas State University – FCA; giocondo.cesar@gmail.com

ABSTRACT: *In this article we present a parallelism about the techniques of digital twins, their application in industry 4.0 and their mirroring of use in digital twin smart cities in different countries, through some practical cases in a timeline, as they have been explored and cited in academic studies. First exposed in 2003 the digital twins, companies and governments are making use of this technology, seeking to align themselves with information technologies (ICT), visualizing on the horizon that the way of managing urban assets and private enterprises can be benefited by it, and to understand it is to work to develop a smart city. As challenges in urban administration grow as a result of social dynamics, IT tools, IoT, cloud computing, 5g internet are enablers in the transformation of a smart city into a digital twin. In this article, we have elaborated a timeline of the main cases of application of digital twins, as well as the main technologies, characteristics of the application scenarios of a digital twin. We discussed how technologies changes the rules of the game and appointed directions for future research, as well the research limitations.*

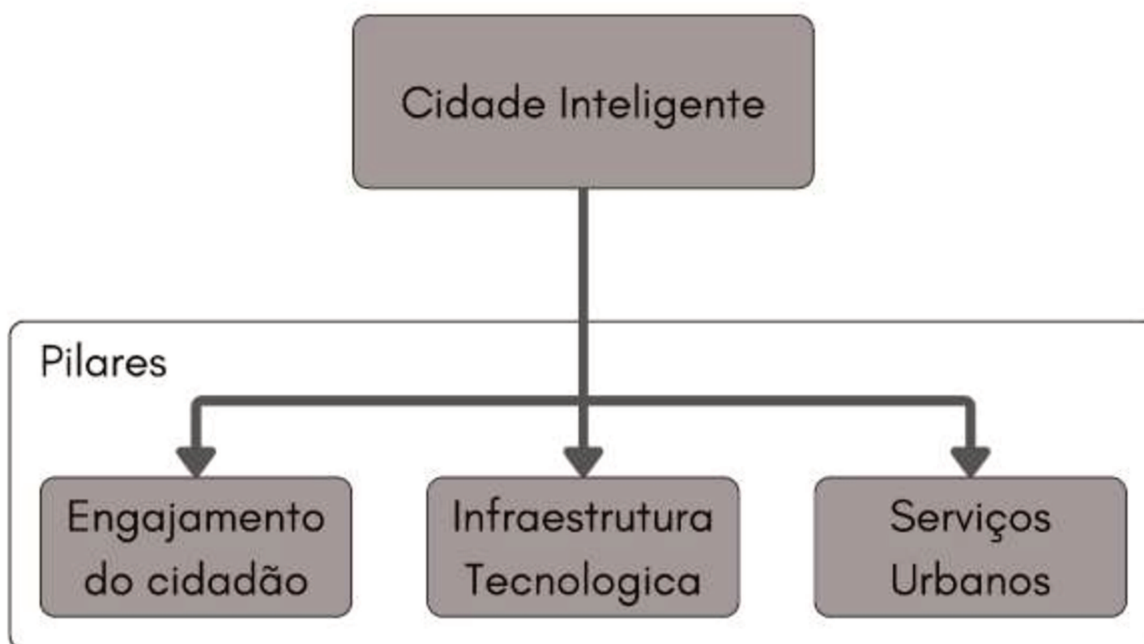
Keywords: Digital Twins; Smart Cities; Industry 4.0; Digital Twins Smart city.

1. Introdução

O crescimento acelerado dos municípios e metrópoles tanto no âmbito populacional quanto em tamanho geográfico, vem gerando consequências em termos econômicos, sociais e ambientais. Tem causado preocupações em decorrências das previsões incertas e decisões com baixa confiabilidade, bem como as metas de sustentabilidade a serem alcançadas, gestores e tomadores de decisões implementam tecnologias intencionalmente, visando compor cidades inteligentes e conectadas (MOHAMMADI; TAYLOR, 2017). Na década de 1970 nos Estados Unidos da América havia foco nos problemas sociais urbanos, esse cenário propiciou desenvolvimento da visão de cidades conectadas, impulsionando financiamentos concretos, o programa Great Society é um exemplo das iniciativas do governo federal norte americano, destacando também o painel de Goldmark da Academia Nacional de Engenharia, destacando a importância dos avanços dos cabos de telecomunicações a respeito de fornecer dados e serviços de localização (DUTTON, 2019).

Segundo (INGWERSEN; SERRANO-LÓPEZ, 2018) cidades inteligentes são como um organismo vivo que engloba tecnologia, pessoas e instituições. (HARRISON et al., 2010) define “cidade instrumentada, interconectada e inteligente” também no âmbito tridimensional, onde dados gerados são integrados em plataformas e fornecidos a serviços estratégicos da cidade, e para tomar as melhores decisões são feitas análises de dados, modelagem de cenário, otimização preditiva, tornando o processo inteligente (Figura 1). Entendendo cidades inteligentes como um conjunto de sistemas configurando uma ligação simbiótica (CHOURABI et al., 2012). (AFONSO et al., 2015) analisa uma série de indicadores e domínios que são usados para categorizar uma cidade inteligente, nele são avaliadas seis características relacionadas a recursos humanos, transporte público, qualidade de vida, participação popular, aspectos sociais e competitividade, base ferramental de interpretação das carências estruturais do local.

Figura 1 – Pilares das Cidades Inteligentes



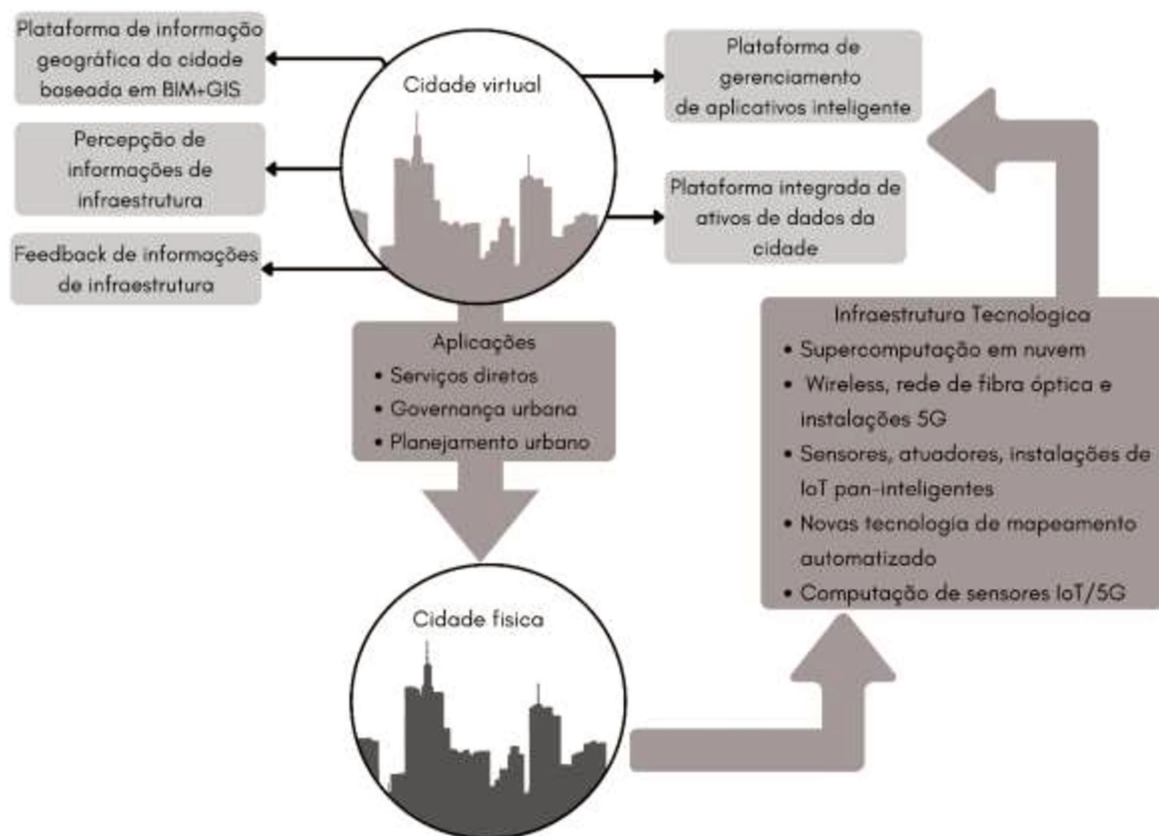
Fonte: Adaptado de (TALAMO et al., 2019)

A implantação de redes de fibra ótica ou outros tipos de internet de rápida, sensores e internet das coisas (IoT) (POETA.IT, 2016), bem como a tecnologia da informação (TI) são apoios fundamentais da transformação do ambiente urbano (BATTY, 2013). O funcionamento do TI na gestão da infraestrutura e serviços urbanos, demonstra potencial ganho na otimização de serviços como transportes, manutenção urbana, gerenciamento de resíduos sólidos, serviços simples podem ser oferecidos de forma digital e à disponibilidade de informação em tempo real (TALAMO et al., 2019). A IoT trata-se de um conjunto de sensores conectados em uma rede de comunicação sem fio, que relaciona objetos de grande escala, gerando enormes quantidades de dados (Big Data) permitindo assim uma análise minuciosa do mundo físico. Com isso podemos destacar algumas finalidades, por exemplo, uso eficiente dos recursos urbanos, manutenção de áreas verdes, sistemas de ondas verdes semafóricas etc. apoiando as decisões com previsões mais assertivas (PAGANIN et al., 2016).

Com a aplicação dessas tecnologias avançadas a serviço da administração de ativos de construção e controle de operações de forma remota, possibilitaram a criação de mapas digitais do ambiente físico. Gêmeo digital nasce da modelagem desses dados fornecidos pelo aparato tecnológico compreendido no ambiente urbano. Para Grieves em seu curso sobre ciclo de vida de produto ministrado na Universidade de Michigan em 2003, o gêmeo digital é estruturado pelo produto físico, produto virtual e as conexões que os unem (GRIEVES, 2006). (GLAESSGEN; STARGEL, 2012) citam a aplicação de gêmeo digital no programa Apollo da Administração Nacional da Aeronáutica

e Espaço (NASA), onde é feito o espelhamento das condições da missão. TUEGEL(2012) define gêmeo digital como uma integração de vários modelos, ao aplicar um modelo computacional Airframe Digital Twin (ADT) na gestão do ciclo de vida das aeronaves. Lee Jay entende gêmeo digital como um modelo que opera de forma mutua uma plataforma em paralelo com o processo real, o modelo projeta uma imagem digital e alimenta essa com dados coletados no mundo real (LEE et al., 2013) e (ASIMOV et al., 2018) comenta em seu projeto “Digital Twin in The Analysis of a Big Data” que gêmeo digital seria uma réplica da instalação física real no ambiente virtual, que analisa dados minerados e projeta problemas futuros com inteligência artificial (IA). Uma relação mutualista entre entidades físicas e digitais, o gêmeo digital integra em alto grau software e hardware, enriquecendo e transformando as entidades virtuais (Figura 2) (DENG; ZHANG; SHEN, 2021).

Figura 2 – Esquema de funcionamento das cidades Gêmeas Digitais



Fonte: Adaptado de (DENG; ZHANG; SHEN, 2021)

Tecnologias no gêmeo digital: (i) a tecnologia de levantamento e mapeamento é a base para coletar dados estáticos das edificações nas cidades; (ii) a tecnologia BIM (Building Information Modelling) é uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício, por exemplo, que ajuda no planejamento, projeto, construção e gestão, é base para a gestão de ativos e infraestrutura das cidades (CHEN et al., 2018); (iii) IoT e 5G são bases para coletar dados dinâmicos e enviar feedback de forma eficaz (ALAVI et al., 2018); (iv) a tecnologia Blockchain é base para o mecanismo de confiança de transações, logística e comportamento humano (CHRISTIDIS; DEVETSIKIOTIS, 2016); (v) a computação colaborativa com 5G é base para respostas eficientes em tempo real e (vi) a tecnologia de simulação é base para o suporte de políticas, planejamento e mecanismos de alerta precoce (POETA.IT, 2016).

Neste contexto, o objetivo desse artigo é analisar casos de aplicação de Cidades Gêmeas Digitais com a elaboração de uma linha do tempo, considerando os principais desafios de implantação e as perspectivas futuras sobre a aplicação do gêmeo digital.

2. Metodologia

Segundo (Zupic & Cater, 2015) usar palavra-chave para compilar os dados bibliométricos, define limite e um escopo dos artigos sendo o mais inclusivos possível, de modo que todos os potenciais e possíveis derivados dos termos sejam incluídos nos resultados da pesquisa.

Esta etapa consistiu em pesquisar a base de dados Web of Science (WoS) selecionando palavras-chave específicas, como 'Digital Twin', 'Industria 4.0', 'Smart City', 'Smart Nation' foram utilizados para selecionar títulos, resumos, palavras chaves, conteúdo do artigo e temas de interesse, para procurar artigos relacionados com a proposta deste trabalho. Foram encontrados 54 trabalhos, quando filtrado exclusivamente por artigos entre os anos de 2013 a 2023, refinando pela análise do título e do resumo, foram selecionados 17 artigos considerados pertinentes ao objetivo da pesquisa. Os materiais foram avaliados com o propósito das contribuições, o foco principal e os critérios definidos em níveis hierárquicos. Os dados foram coletados da Clarivate Analytics Web of Science Core Collection, que é considerada uma das bases de dados mais abrangentes para estudos de bibliometria. Além disso, entre outras bases de dados, Balstad e Berg (2020) descobriram que a Web of Science fornece dados abrangentes e comparáveis no domínio de gerenciamento em comparação com o Scopus e o Google Scholar. Portanto, após a seleção do banco de dados, foram seguidos os passos proeminentes dos estudiosos em levantamentos bibliométricos (Chabowski et al., 2013). As palavras selecionadas foram pesquisadas dentro do título, palavras-chave e identificadores específicos de artigos de todos os resumos disponíveis em todas as revistas. A fim de agregar valor ao estudo e seus resultados práticos, foi realizada uma análise dos principais casos práticos citados nos artigos, apresentados numa sequência longitudinal – timeline apresentado na Figura 3 juntamente com a Tabela 1 destacando as áreas de aplicação bem como seus facilitadores e limitadores no desenvolvimento desses casos.

2.1. Casos

O primeiro gêmeo digital foi desenvolvido pela NASA EM 1960 na missão apollo 13, em que aeronave tinha sofrido um acidente ao sair da órbita terrestre, então para resolver esse problema os engenheiros utilizaram os simuladores de teste para montar um cenário idêntico onde foi possível resolver o problema. Ainda que um simulador não seja um gêmeo digital, mas a facilidade de adaptar um cenário similar ao da vida real é um avanço considerável. Mas a ideia de gêmeo digital ganhou força em 2000 e em 2012 a NASA publica o artigo "The Digital Twin Paradigm for Future Nasa and U.S. Air Force Vehicle" (Allen, 2021)

A universidade de Cambridge e os institutos de pesquisa de Cingapura iniciou em 2013 o Centro de Cambridge para Pesquisa e Educação Avançada em Cingapura (CARES), que tem como seu maior projeto o C4T, que busca desenvolver tecnologias para gestão e redução na emissão de carbono em indústrias químicas (CAMBRIDGE CARES, 2013). Essa abordagem atingiu o ponto mais alto na criação de um gêmeo digital das indústrias químicas de Cingapura, que posteriormente idealizou o projeto The World Avatar (TWA) capaz de realizar a simulação de cidades inteiras (SAVAGE et al., 2022).

O projeto de porto inteligente foi concebido em 2015 uma iniciativa do governo Chines, localizado em Mawan no centro-leste da província de Hubei (GOVERNMENT, 2022). Equipado com infraestrutura ePot, IA, sistema de posicionamento BeiDou, Blockchain e portas inteligentes tornando a operação e manuseio dos contêineres de forma online (SHENZHEN DAILY, 2021). A 51AES empresa especializada em ambientes virtuais, facilitou o processo de criação de um gêmeo digital do porto (51AES, 2023).

Capital da inovação em 2016 Amsterdã lança a plataforma Amsterdam Smart City que comporta uma base de dados robusta, facilitando na transição para uma cidade informatizada (Beuken e Huizing, 2016). Destacando-se o Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW) que realiza coletas de dados de transporte rodoviários, fornecendo apoio a inúmeros serviços essenciais de tráfegos e servido de base sólida para tomadores de decisão referente a mobilidade urbana, essa rapidez tecnológica da cidade de Amsterdã contribuiu para o desenvolvimento do projeto gêmeos digitais e implementação de painéis inteligentes (Manville *et al.*, 2014). O projeto compreende a região de influência do estádio Johan Cruyff Arena, uma área de entretenimento e negócios que enquadra-se como uma smart city, onde foi avaliado temas como meio ambiente, mobilidade e energia, informação como qualidade energética dos edifícios, qualidade do ar e poluição, energia solar e eólica, estado do transporte público, vagas de estacionamento e intensidade do tráfego (CAS, 2021). A integração desses dados é feito em um gêmeo digital 3D da cidade e seus desempenhos é demonstrado em um painel inteligente (Geodan B.V., 2020).

Em 2017, a China anunciou o plano "Hebei Xiong'an New Area Planning Outline" na província de Hebei no distrito de Xiong'an, uma área localizada a 105 km da capital Pequim e Tianjin (SHIJIAZHUANG MUNICIPAL; GOVERNMENT, 2023). Visando tornar a área em um polo de crescimento regional e modelo de cidade moderna e inteligente até 2035, o projeto prevê que será possível fazer gestão inteligente de forma síncrona construindo uma cidade real e virtual, com a utilização de ferramentas BIM, GIS e IA alimentados por uma robusta infraestrutura tecnológica (CPC; HEBEI PROVINCIAL, 2018). Ao longo dos anos foram colocados em prática alguns planos, como por exemplo, o Centro de Atendimento ao Cidadão de Xiong'an iniciou suas atividades em 2018, servido como um protótipo da cidade do futuro. O projeto Millennium Forest no final de 2019

e Início em 2020 a construção conjunta da instalação da infraestrutura digital e tradicional (XUETING; CHEN; NING, 2021).

A cidade de Rennes e a empresa de tecnologia Dassault Systèmes em 2017 lançaram a Rennes Virtual, uma cidade virtual 3D com a finalidade de facilitar a comunicação entre as partes interessadas e os planejadores urbanos na estruturação de projetos, produtos e serviço aos cidadãos (MTE, 2017). Em 2018 a 3D ExperienCity transforma a plataforma em um Gêmeo Digital, fornecendo uma visão holística da evolução da metrópole e simulando cenários sustentáveis e desafios sociais e urbanos (GIBON, 2018).

Finalizado em 2018 e disponível apenas para membros do governo, a plataforma Virtual Singapura 3D City Model, é umas das metas da iniciativa “Smart Nation” lançada em 2014, trata-se de uma transformação tecnológica na administração pública e privada bem como nas relações com os cidadão e gestão ambiental (PM LEE, 2018). O virtual Singapura é um gêmeo digital um modelo 3D baseado em dados geométricos dinâmicos e estáticos em tempo real compatibilizando com imagens coletadas de outros órgãos públicos, inclui informações geoespaciais, conteúdo gráfico enviados por sensores distribuídos pela cidade (SLA, 2014).

Safeswim é uma plataforma idealizada pelo conselho Auckland e outras organizações como a Auckland Regional Public Health Service, Surf Life Saving Northern Region Surf e a Life Saving New Zealand (AUCKLAND COUNCIL; NEW ZEALAND GOVERNMENT, 2023) Considerando-se a última atualização da plataforma ocorreu em 2018, contando com tecnologia Gêmeos Digital, possibilitando o monitoramento da interação entre condições atmosféricas e o ambiente marinho, coletando e processando mais de um bilhão de pontos em tempo real, enviando para a plataforma previsões de 84 praias (COUPER et al., 2018). Em 1995 foi implementado objetivando informar a qualidade das águas das praias da Nova Zelândia, em 2016 passou por uma profunda revisão e em 2017 um novo programa Safeswim foi disponibilizado via plataforma web, fornecendo indicadores de risco utilizando Big data (AUCKLAND COUNCIL, 2017).

Em 2018 a 2019 em Helsinque na Finlândia, foi desenvolvido o projeto de gêmeo digital no distrito de Kalasatama, tendo como finalidade produzir modelos realistas e método estruturado de bancos de dados, servindo como apoio à projetos de experimentação digital urbana como por exemplo simulação solar e eólica afim de demonstrar o fluxo de ar e sombras projetadas (Hämäläinen, 2021). Com a implantação do CityGML na confecção do modelo 3D da cidade, aumentando a qualidade dos projetos experimentados, a CityGML é um modelo de dados aberto com formato XML capaz de armazenar cidades virtuais (Erving, 2008). ao longo da implantação do gêmeo digital, a utilização do aplicativo Open Cities Planner tornou-se uma ferramenta na construção de casos visuais e aumento da participação dos cidadãos na melhoria dos locais turísticos (KIRA-digi, 2019).

Duisburg localizada no norte da Alemanha iniciou em 2018 o Masterplan com a finalidade de tornar-se uma cidade inteligente, partindo da digitalização de elementos urbanos (Duisburg.De, 2019). esse plano implementou RhineCloud, uma infraestrutura de nuvem flexível que comporta a troca de informação com equipamentos IoT, gera ambientes 3D com alta resolução e precisão centimétrica e também implementou internet 5G e ampliou acesso ao Wifi (Huawei, 2018). Visando fomentar a participação dos cidadãos e empresas no acesso à informação uma plataforma de dados abertos foi lançada a Duisburg open Data, esses esforços possibilitou a criação de um gêmeo digital da cidade onde aspectos como fluxo de tráfego, vagas de estacionamento, transporte público, pontos de carregamento de veículos elétricos, temperatura, qualidade do ar, níveis de ruídos e todas essas informações foram reunidas em um Dashboard que é atualizado (CAS, 2021)

Área do porto terrestre internacional de Urumqi-China, desde que sua construção começou em 2015, se tornou referência para o projeto Cinturão Econômico da Rota da Seda (One Belt and One Road) (HUANG, 2016), contemplando cinco plataformas principais, destacando o centro de montagem China-Europe Express, planejado usando Gêmeos Digital (YIZHAO, 2022). Em setembro de 2019 o China State Railway Group Co inicia parcerias para elevar a qualidade das ferrovias, passando a integrar dispositivos IoT, IA e tecnologia da informação para obter visibilidade e gerenciamento das estações (XIAODONG, 2021).

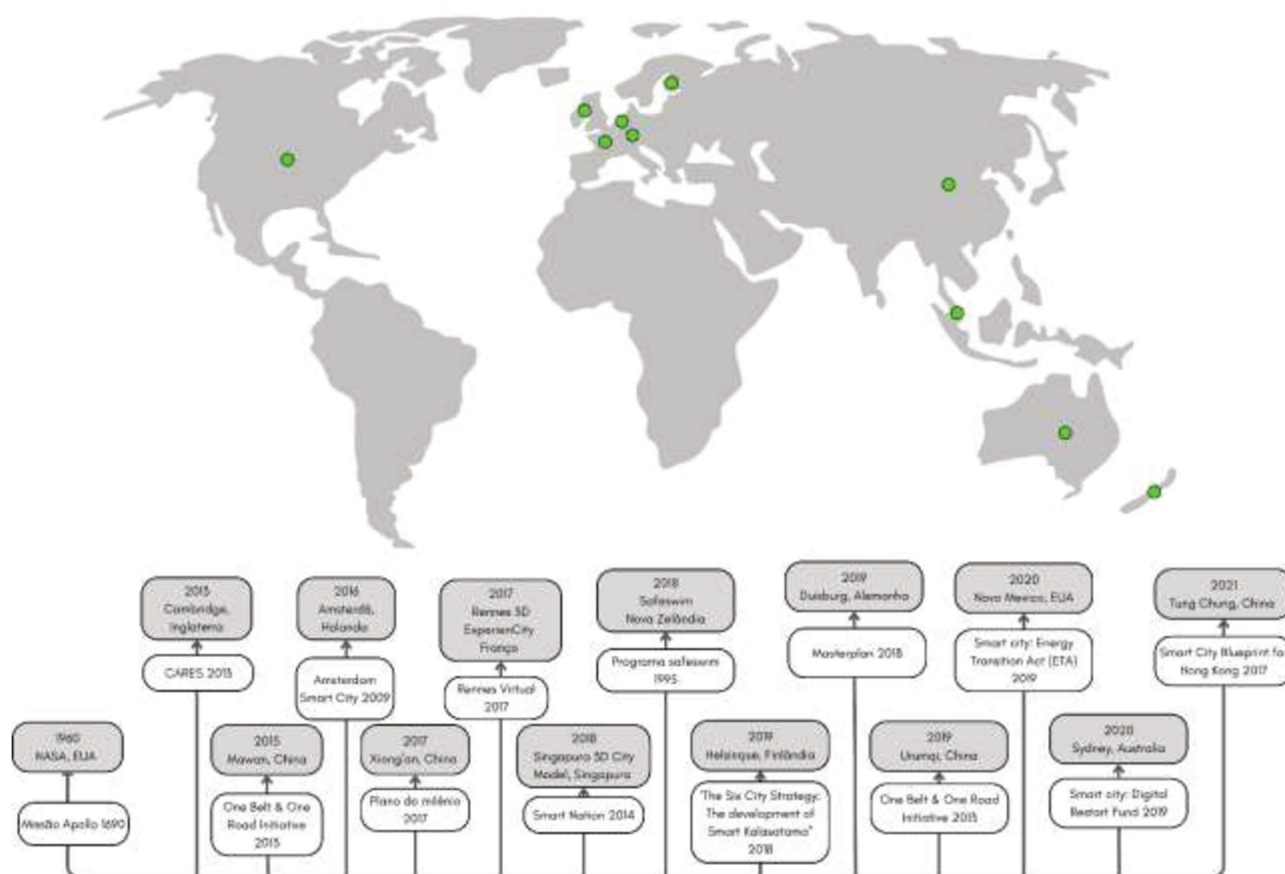
O estado do Novo Mexico está passando por uma transição energética (SENATOR JACOB R.; EGOLF, 2019), e para tornar isso viável lançou em 2020 uma nova infraestrutura inteligente, em parcerias com a CityZenith desenvolvedora da plataforma Digital Twin SmartWorldPro, promovendo a modelagem 3D dos elementos de substituição, agilizando operações contínuas de novos ativos (BENTON, 2020). posicionando o estado como um dos líderes no combate às mudanças climáticas. Através da substituição da energia de combustível fóssil por uma rede de energia 'inteligente' mais limpa, apresentando a maior matriz solar e eólica da América do Norte e gerando amplo excedente para negociação nos mercados de energia.

Lançado em 2020 na Austrália, o *NSW Spatial Digital Twin* é uma plataforma desenvolvida em parceria com a Data61, CSIRO e MAGDA, projetando um mapa modelo 4D (3D + tempo) virtual do ambiente físico de *Western Sydney*, alimentado com uma série de sensores IoT que atualiza o sistema com dados de fluxo de tráfego, qualidade do ar e demanda de energia elétrica (NSW GOVERNMENT, 2020). Com a função de fornecer suporte eficiente a formuladores de políticas e empresas, mas que mantém alguns dados bloqueados destinado somente a uso do governo. A ferramenta atualmente está sendo atualizada para agregar valor à ativos históricos, fornecendo cenários de diferentes períodos desde de 1930, além de alimentar os mapas com informações de satélites, radar, Detecção de Luz e alcance (LiDAR) que reproduzem dados de Inundações, vegetação, altura e outras recursos espaciais, fontes valiosas para organizações envolvidas no planejamento, monitoramento, gerenciamento de recursos naturais e atividades humanas (DTVS, 2020).

Em janeiro de 2012 o governo Chines, visando desenvolver a área de Tung Chung na ilha de Lantau, Hong Kong. Inicia estudos para a criação de uma nova cidade totalmente planejada, em 2014 uma proposta foi elaborada a “Tung Chung New Town Extension (TCNTE)” com objetivo de promover uma comunidade com baixa emissão de carbono, bem como a gestão do uso do solo (CEDD, 2012). E em 2021 As obras estão sendo executada com auxílio da tecnologia IoT, IA, BIM, GIS e Gêmeos Digitais etc, garantindo infraestrutura urbana para a primeira população esperada para 2024 (TERENCE LUI, 2022).

XVII CNEG _ Congresso Nacional de Excelência em Gestão / INOVARSE _ Simpósio de Inovação e Responsabilidade Social
&
ESD Economic and Social Development Conference

Figura 3 – Exemplo A Figura 3 apresenta um timeline, ou seja, a evolução do termo digital Twin no decorrer do tempo, com marcos específicos, apontando suas principais funcionalidades convergindo com os achados da análise bibliométrica



Fonte: Autores (2023)



XVII CNEG _ Congresso Nacional de Excelência em Gestão / INOVARSE _ Simpósio de Inovação e Responsabilidade Social
&
ESD Economic and Social Development Conference

Tabela de relação de influência

Local	Áreas de Aplicação	Facilitadores	Limitadores	DT	SC	4.0	DT-SC
NASA, EUA 1960 Missão Apollo 1690	Aeronáutica, Tecnologia espacial.	Investimento Estatal, ambiente de inovação	Conectividade constante	X			
Cambridge, Inglaterra CARES 2013	Meio ambiente, planejamento urbano, Indústria 4.0	Investimento estatal e privado, integração de dados geoespaciais e temporais	Dificuldade na interoperabilidade de dados			X	X
Mawar, China 2015 One Belt & One Road Initiative 2013	Cadeia de suprimento, Transportes.	Investimento estatal e privado, integração de dispositivos IoT, BIM e GIS	Alto investimento e recursos humanos.			X	X
Amsterdã, Holanda 2016 Amsterdam Smart City 2009	Meio Ambiente, mobilidade e energia.	Investimento estatal e privado, engajamento comunidade, integração de dispositivos IoT, BIM e GIS.	Falta de parcerias continuada, demora no processamento dos dados.				X
Xiong'an, China 2017 plano do milênio 2017	Planejamento urbano sustentável, Tecnologia e Mobilidade.	Investimento estatal e privado, integração de dispositivos IoT, IA, BIM e GIS.	Alto investimento			X	X
Rennes, França 2018 Rennes Virtual 2017	Planejamento urbano sustentável e negócios.	Investimento estatal e privado, integração de dispositivos IoT, BIM e GIS.	Demora no processamento das informações gráficas				X
Singapura 2018 Smart Nation 2014	Planejamento urbano, gestão sustentável, Tecnologia e Mobilidade.	Investimento estatal e privado, integração de dispositivos IoT, IA, BIM e GIS.	Plataforma fechada de uso exclusivo do governo		X		
Nova Zelândia 2018 programa e-government 1995	Gestão ambiental, segurança pública.	Investimento estatal, engajamento da comunidade, integração de dispositivos IoT, IA, BIM e GIS.	Demora na resposta dos dados analisados.				X
Helsinki, Finlândia 2018 "The Six City Strategy: The development of Smart Kalasatama"	Planejamento urbano sustentável e negócios.	Investimento privado, engajamento da comunidade, integração de BIM e GIS.	Processos burocrático longo, investimento em recursos técnicos e humanos e mudança de mentalidade.			X	X
Duisburg, Alemanha 2019 Masterplan	Planejamento urbano, meio ambiente e mobilidade	Investimento estatal e privado, Engajamento da comunidade, integração de dispositivos IoT, BigData e GIS.	Padronização dos dados e sistemas				X
Urumqi, China 2019 One Belt & One Road Initiative 2013	Cadeia de suprimento, Transportes.	Investimento estatal, integração de dispositivos IoT e IA.	Alto investimento e recursos humanos.			X	X
Nova Mexico, EUA 2020 Smart city: Energy Transition Act (ETA)	Gestão energética	Investimento estatal e privado	Processos burocrático longo, investimento em recursos técnicos e humanos e mudança de mentalidade.				X
Sydney, Australia 2020 Smart city: Digital Restart Fund	Planejamento urbano	Investimento estatal e privado, engajamento da comunidade, informações de satélites, radar, Detecção de Luz e alcance (LiDAR)	Pouca precisão dos dados				X
Tung Chung, China 2021 Smart City Blueprint for Hong Kong 2017	Administração pública, Tecnologia da informação.	Investimento estatal e privado, integração de dispositivos IoT, BIM IA e GIS.	Processos burocrático longo, investimento em recursos técnicos e humanos.			X	X

Fonte: Autores (2023)

3. Discussão

Os gêmeos digitais apresentam seus benefícios, sua evolução como ferramenta para desenvolvimento de cenário futuro em diversas áreas urbanas, destacando-se na tomada de decisões. Integrar modelos digitais, com informações históricas e apresentar modelo unificado 3D beneficia exploração de uma gama de análises técnicas, qualifica e dá base para gerenciamento de tendências para diferentes cidades, com finalidades e contextos diversos.

Embora vários tipos de métodos de implementação de gêmeos digitais tenham sido utilizados, desde plataformas Web, Software ou dispositivos periféricos com VR/AR/MR, a caracterização dos detalhes e elementos físicos que compõem a cidade são insuficientes devido ao alto grau de detalhes que são importantes na montagem da cidade virtual, requisitos necessários para modelar e processar um projeto metropolitano. A integridade e comunicação dos dados de forma clara são problemas comum em sensores o que dificulta a simulação do gêmeo digital (JIANG et al., 2021), O ambiente virtual se alimenta de dados, portanto a importância de estabelecer um centro de dados é fundamental na gestão do ciclo de vida dos elementos urbanos, o desafio de compatibilizar dados e promover a gestão energética e de custo é um objetivo a ser alcançado. outro problema comum é a falta de dados

ou a dificuldade de acessar dados de determinadas regiões, que podem ser adaptados com simulação de cenários próximos, mas que não são dados precisos do ativo de interesse (BOJE et al., 2020). A busca pelo equilíbrio entre segurança e eficiência são desafios que serão superados ao longo das atualizações desses projetos. O alto investimento é representado pela dificuldade na implantação de uma infraestrutura robusta e operação dos dados, desafio comum na implantação de novas tecnologias, continuidade de parcerias, dificuldade da atualização e evolução tecnológica, ausência de políticas robustas de fomento de parceria público-privada. E por fim, a tecnologia gêmeo digital utilizada atualmente foca na transferência de informação do mundo físico para a sua replica virtual, ao passo que a utilização completa dos recursos exige integração mútua.

A pesquisa atual analisa alguns casos aplicados, entretanto é inegável a vanguarda do tema, o que indica que novos estudos destas iniciativas são imprescindíveis, destacando os impactos na resolução de problemas, bem como na qualidade de vida do cidadão. Outros estudos focados nas áreas de padronização de dados destinados a gêmeos digitais, por ser uma tecnologia que compreende cenários diferentes de uma cidade e utiliza aplicativos de software com formatos diferentes exigem esse tratamento (RUOHOMÄKI et al., 2018), criação de um gêmeo digital multisetorial pode alcançar uma realidade virtual completa e espelhada (BATTY, 2013), estudos voltados a cidades cognitivas seriam de grande valia, incluindo componentes sociais e econômicos compreendendo indivíduos e soluções técnicas como alimentadores para um aprendizado urbano são desafios consideráveis para chegar ao produto final.

4. Conclusão

Este artigo busca construir uma linha do tempo, destacando diferentes áreas de aplicação e tecnologias utilizadas em cada contexto. Na investigação de cada caso fica claro que novos desafios são encontrados à medida que novos contextos geográficos são inseridos. A transição de um sistema analógico para o digital requer empenho de todas as partes envolvidas, o empenho do governo em promover políticas de inovação, a contraparte da iniciativa privada em fomentar empreendimentos e a sociedade fazer parte deste desenvolvimento são fundamentais. A forma como os cidadãos são engajados no tema em diferentes perspectivas, como nos casos da Austrália, Nova Zelandia e França onde o foco é estritamente governamental voltado a cultura, meio ambiente e preservação histórica, em comparação com China, Singapura e Novo Mexico que envolve planos econômicos e gestão energética. Gerando impacto na maneira que essas sociedades interpretaram a tecnologia.

O gêmeo digital se mostrou ser um aliado na gestão sustentável das operações industriais no sentido de redução de emissões de gás carbônico, entendendo que ao longo dos anos esse pode ser um uma solução para as futuras empresas na fase de planejamento operacional. Cidades gêmeas digitais podem apoiar iniciativas de transição para uma cultura de complementariedades, esforços coletivos e simultâneos, gestão mais sustentável, preditiva e inteligente. Nos casos estudados a maneira como eles lidam com a tecnologia é caracterizado pela forma que cada governos lida com a segurança de dados e como eles são expostos ao público, nos casos europeus essa questão é regida por leis de proteção de dados, em comparação com os casos asiático onde os empreendimentos são geridos pelo governo os dados são utilizados de forma estratégica de forma a atender o projeto, mas que igualmente seguem protocolos de segurança de dados.

O contexto em que cada projeto é implementado é parecido dependendo da área de atuação, mas, entretanto, há diferenças quando analisamos os casos asiáticos como por exemplo os projetos chineses, eles estão englobados no plano econômico *One Belt and One Road*, assim como Singapura que implementou o *Singapore Smart Nation*, encontros como os europeus que são predominantemente casos exclusivos com uma visão experimental de pequenos portes, que conta com parcerias públicas.

REFERÊNCIAS

51AES. Digital Twin Metaverse Virtual Reality 51Aes and 51WORLD. Disponível em: <<https://www.51aes.com/>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

AFONSO, R. A. et al. Brazilian smart cities: Using a maturity model to measure and compare inequality in cities. (R. A. Afonso, Ed.) 16th Annual International Conference on Digital Government Research. Anais...Phoenix, AZ, EUA: Association for Computing Machinery, 27 maio 2015. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2757401.2757426>>. Acesso em: 14 jul. 2023.

ALAVI, A. H. et al. Internet of Things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. Measurement, v. 129, p. 589–606, 1 dez. 2018.

ALLEN, B. D. Digital Twins and Living Models at NASA. NASA. Virginia Langley Research Center Hampton. 3 nov. 2021. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/20210023699>>. Acesso em: 26 ago. 2023

ASIMOV, R. M. et al. DIGITAL TWIN IN THE ANALYSIS OF A BIG DATA. (BSUIR, Ed.) Collection of materials of the fourth international scientific and practical conference. Anais...Minsk: 2018, 4 maio 2018. Disponível em: <<https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/31344>>. Acesso em: 7 jul. 2023.

AUCKLAND COUNCIL. Decide with Safeswim Platform. Disponível em: <<https://safeswim.org.nz/>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

AUCKLAND COUNCIL; NEW ZEALAND GOVERNMENT. Te Kaunihera o Tāmaki Makaurau: Auckland Council. Disponível em: <<https://www.aucklandcouncil.govt.nz/environment/looking-after-aucklands-water/Pages/is-your-beach-safe-for-swimming.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BALSTAD, M. T., & BERG, T.. A long-term bibliometric analysis of journals influencing management accounting and control research. 2020 *Journal of Management Control*, 30(4), 357–380.

BATTY, M. *The New Science of Cities: There are many sciences of the city*. London, England: MIT Press, 2013.

BENTON, D. Digital Twin platform to bring carbon-neutral era for New Mexico. Disponível em: <<https://cpostrategy.media/blog/2020/10/16/digital-twin-platform-to-bring-carbon-neutral-era-for-new-mexico/>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

BOJE, C. et al. Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, v. 114, 1 jun. 2020.

BEUKEN, L.; HUIZING, F. **Amsterdam Smart City**. Disponível em: <<https://amsterdamsmartcity.com/>>. Acesso em: 12 ago. 2023.

CAMBRIDGE CARES. J-Park Simulator A Part of The World Avatar Project: A knowledge-graph-based digital twin of the world. Disponível em: <<https://www.cares.cam.ac.uk/>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

CAS. *Digitranscope The governance of digitally-transformed society*. **Publications Office of the European Union**, p. 135–149, 23 fev. 2021.

CEDD. *We Engineer Hong Kong's Development*. Hong Kong, China: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.cedd.gov.hk/tc/publications/cedd-departmental-report/index.html>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

CHABOWSKI, B. R., SAMIEE, S., & HULT, G. T. M. A bibliometric analysis of the global branding literature and a research agenda. 2013 *Journal of International Business Studies*, 44(6), 622–634.

CHEN, K. et al. Automatic building information model reconstruction in high-density urban areas: Augmenting multi-source data with architectural knowledge. *Automation in Construction*, v. 93, p. 22–34, 1 set. 2018.

CHOURABI, H. et al. Understanding smart cities: An integrative framework. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences. Anais...IEEE Computer Society, 2012.

CHRISTIDIS, K.; DEVETSIKIOTIS, M. Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. IEEE Access, v. 4, p. 2292–2303, 10 abr. 2016.

COUPER, S. et al. SAFESWIM-OR TROUBLED WATERS? AUCKLAND'S SMART CUSTOMER ENGAGEMENT INITIATIVE. Water New Zealand's 2018 Stormwater Conference. Anais...23 maio 2018. Disponível em:
<https://www.waternz.org.nz/Article?Action=View&Article_id=1464>. Acesso em: 12 jul. 2023.

CPC, H. P. C.; HEBEI PROVINCIAL, P. G. Hebei Xiongan New Area Planning Outline. Disponível em: <http://www.xiongan.gov.cn/2018-04/21/c_129855813.htm>. Acesso em: 10 jul. 2023.

DENG, T.; ZHANG, K.; SHEN, Z. J. (MAX). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. Journal of Management Science and Engineering, v. 6, n. 2, p. 125–134, 1 jun. 2021.

DTVS. NSW Digital Twin Map. Disponível em: <<https://nsw.digitaltwin.terria.io/>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

DUISBURG.DE. **Smart City Duisburg: Masterplan Digitales Duisburg**. 1º ed. Duisburg: Stabsstelle Digitalisierung, 2019. v. 1º

DUTTON, W. H. Wired City. Telecommunication Journal of Australia, v. 23, n. 3, p. 185–191, abr. 2019.

ERVING, A. Paikkatiedoista kaupunkimalleihin: CityGML selvitystyöTeknillinen korkeakoulu: Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Espoo, Finland: [s.n.]. Disponível em: <https://foto.aalto.fi/publications/Loppuraportti_MMM_anna.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

GEODAN B.V. **Revealing the city's rhythms in real time**. Disponível em: <<https://www.geodan.com/knowledge-and-innovation/managing-urban-processes-intelligently-with-the-amsterdam-smart-city-dashboard/>>. Acesso em: 12 ago. 2023.

GIBON, C. Rennes Métropole chooses 3D EXPERIENCE platform to implement 3DEXPERIENCity Virtual Rennes, a collaborative cloud-based solution. Disponível em: <<https://www.3ds.com/insights/customer-stories/rennes-metropole>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

GLAESSGEN, E. H.; STARGEL, D. S. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA. Anais...2012. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120008178/downloads/20120008178.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

GOVERNMENT, C. Data release of Mawan Town. Disponível em: <<http://xzqh.org/html/show/hb/37340.html>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

GRIEVES, M. Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. Em: MCGRAW HILL; ILLUSTRATED EDITION (Eds.). 2006. ed. New York: McGraw Hill, 2006. v. Unicop. 319–332.

HÄMÄLÄINEN, M. Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. IET Smart Cities, v. 3, n. 4, p. 201–210, 1 dez. 2021.

HARRISON, C. et al. Foundations for Smarter Cities. IBM Journal of Research and Development, v. 54, p. 1–16, 19 jul. 2010.

HUANG, Y. Understanding China's Belt & Road Initiative: Motivation, framework and assessment. China Economic Review, v. 40, p. 314–321, 1 set. 2016.

HUAWEI. **Huawei and DU-IT Help Duisburg Become a Smart City**. Disponível em: <<https://www.huawei.com/en/news/2018/6/huawei-du-it-duisburg-smartcity>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

INGWERSEN, P.; SERRANO-LÓPEZ, A. E. Smart city research 1990–2016. Scientometrics, v. 117, n. 2, p. 1205–1236, 1 nov. 2018.

JIANG, F. et al. Digital twin and its implementations in the civil engineering sector. *Automation in Construction*, v. 130, 1 out. 2021.

KIRA-DIGI. The Kalasatama Digital Twins Project: KIRA-digi pilot project. Helsinki: [s.n.]. Disponível em:

<https://www.hel.fi/static/liitteet2019/Kaupunginkanslia/Helsinki3D_Kalasatama_Digital_Twins.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

LEE, J. et al. Predictive Manufacturing System-Trends of Next-Generation Production Systems. 11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems. Anais...São Paulo-Brazil: IFAC, 22 maio 2013.

MANVILLE, C. *et al.* **Mapping Smart Cities in the EU STUDY. European Parliament.** Bruxelas Policy department A: economic and scientific policy, 6 fev. 2014

MOHAMMADI, N.; TAYLOR, J. E. Smart city digital twins. IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). Anais...2017.

MTE. Démonstrateurs industriels pour la ville durable. Disponível em:

<<https://www.divd.logement.gouv.fr/ouvrir-le-jumeau-numerique-de-la-ville-aux-a49.html>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

NSW GOVERNMENT. NSW Spatial Digital Twin. Disponível em: <
<https://nsw.digitaltwin.terria.io/>>.

PAGANIN, G. et al. L'integrazione delle infrastrutture urbane fisiche e digitali: Il ruolo dei "big Data". *TECHNE*, v. 11, p. 217–225, 2016.

PM LEE, H. L. Smart Nation: The Way Forward. Disponível em:

<<https://www.smartnation.gov.sg/files/publications/smart-nation-strategy-nov2018.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

POETA.IT. IoT - Uma Estratégia para o Brasil / Consolidação de uma visão unificada para orientação e proposição de políticas públicas sobre Internet das Coisas no Brasil. 2. ed. Recife-PE: CESAR, 2016. v. 1

RUOHOMÄKI, T. et al. Smart City Platform Enabling Digital Twin. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems (IS). Anais...Funchal, Portugal: 25 set. 2018.

SAVAGE, T. et al. Universal Digital Twin: Integration of national-scale energy systems and climate data. Data-Centric Engineering, v. 3, n. 4, 13 jun. 2022.

SHENZHEN DAILY. Mawan smart port initiated, Latest News-Shenzhen Government Online. Disponível em: <http://www.sz.gov.cn/en_szgov/news/latest/content/post_9368768.html>. Acesso em: 11 jul. 2023.

SHIJIAZHUANG MUNICIPAL; GOVERNMENT. Shijiazhuang Municipal People's Government. Disponível em: < http://www.xiongan.gov.cn/2018-04/21/c_129855813.htm >. Acesso em: 10 jul. 2023.

SLA. Annex B - Virtual Singapore and Semantic 3D Modelling. Disponível em: <<https://www.sla.gov.sg/articles/press-releases/2014/virtual-singapore-a-3d-city-model-platform-for-knowledge-sharing-and-community-collaboration/annex-b-virtual-singapore-and-semantic-3d-modelling>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

TALAMO, C. et al. Smart cities and enabling technologies: Influences on urban Facility Management services. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Anais...Institute of Physics Publishing, 30 jul. 2019.

TERENCE LUI. Varadise Limited Building Twin of Reality to make it a better place Managing Real World Data with Digital Twin., 2022.

TUEGEL, E. J. The airframe digital twin: Some challenges to realization. Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. Anais...American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 2012.

XIAODONG, Z. China-Europe Railway Express to achieve higher level in five years: expert. Disponível em: <<https://eng.yidaiyilu.gov.cn/p/167742.html>>. Acesso em: 12 jul. 2023.

XUETING, Z.; CHEN, Y.; NING, L. China's City of the Future: Xiong'an New Area. Japao: [s.n.]. Disponível em: <https://www.hitachi.com/rev/archive/2021/r2021_01/pdf/gir.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

YI ZHAO. Silk Road Intelligent Port: The IoT Port Platform of the China-Europe Railway (Urumqi) Assemble Center., 13 jul. 2022. Disponível em: <<https://initiatives.weforum.org/digital-twin-city/case-library#>>. Acesso em: 12 jul. 2023

ZUPIC, I., & CATER, T. Bibliometric methods in management and organization, 2015, Organizational Research Methods, 18(3), 429–472