



A APLICAÇÃO DE IA E DIGITAL TWINS PARA PLANEJAMENTO URBANO

Leonardo Vilas Boas Gonçalves¹, Talita Cristina Caçanha Soares de Andrade²

¹Academico do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Curitiba-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. Bolsista PIBIC/ICETI-UniCesumar. leonardo.vilas.boas2204@gmail.com

²Professora Orientadora, Campus Curitiba-PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. talita.andrad@unicesumar.edu.br

RESUMO

Os Gêmeos Digitais (GDs) são réplicas virtuais dinâmicas de objetos, processos ou sistemas físicos, alimentadas por dados em tempo real para simulações e previsões. O conceito, originado na NASA, consolidou-se com a Indústria 4.0 e a integração entre Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT). No contexto urbano, os GDs representam um avanço para Cidades Inteligentes ao possibilitar o monitoramento e a gestão integrada de dados (trânsito, energia, ambiente), promovendo eficiência e sustentabilidade. Este trabalho tem como propósito analisar criticamente o potencial e os limites da aplicação de IA e Digital Twins no planejamento urbano, considerando não apenas a dimensão técnica, mas também as implicações sociais, éticas e políticas. A pesquisa adota abordagem qualitativa, estruturada em três eixos: análise crítica do presente, construção de cenários prospectivos e reflexão ética sobre futuros urbanos possíveis. Espera-se contribuir para o debate sobre o papel das tecnologias digitais na transformação das cidades, propondo indicadores que contemplem desigualdades sociais e orientem práticas urbanas mais justas e inclusivas.

PALAVRAS-CHAVE: Cenários Urbanos Futuros; Enviesamento Algorítmico; Indústria 4.0.

1 INTRODUÇÃO

Os Gêmeos Digitais (GDs) podem ser compreendidos como réplicas virtuais de ativos físicos, processos ou sistemas que utilizam Inteligência Artificial (IA), aprendizado de máquina e análise de dados para monitorar, simular e prever condições do mundo real.

De acordo com Lu et al. (2020), os Gêmeos Digitais estabelecem um vínculo contínuo entre os mundos real e virtual por meio do fluxo constante de dados. Essa integração é viabilizada por tecnologias emergentes como a Internet das Coisas (IoT) e a computação de borda, que, conforme destacado por Lei et al. (2023, apud HOSSAIN et al., 2018), permitem o intercâmbio em tempo real de informações entre objetos físicos e seus correspondentes digitais.

O conceito de Gêmeos Digitais surgiu na década de 1960, durante o desenvolvimento da Missão Apollo pela NASA, quando modelos virtuais passaram a ser utilizados para simular o comportamento de sistemas físicos (ALLEN, 2021). Desde então, o conceito evoluiu e consolidou-se como uma abordagem promissora na gestão de infraestruturas e na promoção da sustentabilidade urbana, tornando-se essencial para o avanço das cidades inteligentes.

Atualmente, o campo de pesquisa sobre Gêmeos Digitais no contexto urbano encontra-se em expansão, com aplicações na construção civil, mobilidade e planejamento territorial. Estudos de Lu et al. (2020) e Yang et al. (2024) destacam que os GDs permitem prever problemas, otimizar recursos e apoiar a tomada de decisão em tempo real. Cidades como Singapura e Yazhou, no sul da China, têm adotado essa tecnologia como ferramenta estratégica de gestão urbana (JUNFENG, 2023; YAMAUCHI et al., 2024).

Apesar de seu potencial transformador, a implementação de Gêmeos Digitais enfrenta desafios técnicos — como interoperabilidade e padronização de dados — e também desafios não técnicos, incluindo a ausência de modelos de negócios sustentáveis, a escassez de profissionais capacitados e os riscos de vieses algorítmicos. Além disso, persistem questões éticas e sociais, como privacidade, transparência e desigualdade de



acesso, que exigem políticas públicas inclusivas e uma governança digital colaborativa (LEI et al., 2023).

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar criticamente as potencialidades e limitações da aplicação de Inteligência Artificial e Gêmeos Digitais no planejamento urbano, buscando compreender seus impactos técnicos, sociais e éticos, e propor caminhos metodológicos que contribuam para o desenvolvimento de cidades mais justas, inclusivas e sustentáveis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa proposta adota uma abordagem metodológica qualitativa, estruturada em três dimensões complementares: análise crítica do presente, construção de cenários prospectivos e reflexão ética sobre futuros urbanos possíveis. Essa trajetória parte do entendimento de que tecnologias como a Inteligência Artificial (IA) e os Digital Twins não são elementos neutros, mas processos sociotécnicos que devem ser problematizados em suas múltiplas implicações.

Na análise crítica do presente, será realizada uma revisão sistemática e interpretativa de produções acadêmicas, relatórios técnicos e documentos de políticas públicas. Essa etapa tem como objetivo identificar tanto os desafios técnicos – como interoperabilidade de dados, escalabilidade e integração com sistemas urbanos – quanto os desafios sociais e políticos – como desigualdade de acesso, invisibilização de contextos periféricos e riscos de uso acrítico das tecnologias. A análise será conduzida a partir da organização de categorias que permitam distinguir dimensões técnicas e sociopolíticas, possibilitando uma visão integrada do estado atual do tema e criando uma base sólida para as etapas seguintes.

Na etapa de construção de cenários prospectivos, a pesquisa utilizará simulações urbanas e projeções existentes como base para elaborar hipóteses de futuros alternativos. Serão exploradas combinações distintas de variáveis, incluindo aspectos tecnológicos, políticas públicas e dinâmicas sociais. Esse processo tem como finalidade não apenas indicar possíveis caminhos de desenvolvimento, mas também problematizar seus impactos, evidenciando limites, riscos e oportunidades em diferentes contextos urbanos, com ênfase na busca por soluções adaptáveis e sustentáveis.

A reflexão ética será incorporada transversalmente em todas as etapas do estudo. Serão discutidas questões ligadas à transparência e aplicabilidade dos algoritmos, ao risco de vieses discriminatórios, à privacidade dos cidadãos e às formas de governança das tecnologias digitais. Além disso, pretende-se avaliar como princípios éticos podem ser traduzidos em indicadores concretos de aplicação, favorecendo a construção de parâmetros que orientem políticas urbanas mais responsáveis. Essa dimensão busca construir critérios que orientem a aplicação da IA e dos Digital Twins de maneira crítica e responsável, priorizando a inclusão social, a equidade e o fortalecimento democrático no processo de transformação urbana.

Em síntese, a metodologia qualitativa proposta combina análise crítica, prospectiva e ética, oferecendo um percurso sistemático que integra diagnóstico, projeção e reflexão normativa. Ao adotar essa abordagem, pretende-se construir não apenas um entendimento técnico sobre o uso das tecnologias digitais nas cidades, mas também um olhar crítico e situado, capaz de orientar práticas urbanas mais justas, inclusivas e socialmente relevantes, contribuindo para o avanço do conhecimento acadêmico e para o aperfeiçoamento de práticas no campo do planejamento urbano.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Espera-se que a pesquisa venha a evidenciar que o debate sobre Digital Twins tende a ser inicialmente guiado por uma visão tecnológica, centrada na eficiência e na sustentabilidade, mas que, progressivamente, será complementado por uma atenção crescente às dimensões sociais, legais e éticas. Assim, prevê-se que os resultados apontem para a necessidade de um equilíbrio entre as potencialidades técnicas e as implicações sociais, de modo a construir abordagens mais integradas e contextualizadas para o planejamento urbano. É provável que questões como interoperabilidade, qualidade dos dados e ausência de consenso sobre seu valor prático se mostrem barreiras recorrentes. No campo da Inteligência Artificial, antecipa-se que a análise revele a persistência da ilusão de neutralidade, frequentemente desconsiderando impactos políticos e sociais, sobretudo em contextos do Sul Global.

Prevê-se, ainda, que a construção de cenários prospectivos venha a indicar o potencial dos Digital Twins e da IA para apoiar decisões urbanas por meio do uso de simulações, sensores IoT, drones e Big Data, desde que essas ferramentas sejam interpretadas e aplicadas de forma contextualizada às realidades locais.

Por fim, espera-se que a reflexão ética contribua para destacar os dilemas relacionados a vieses algorítmicos, vigilância e opacidade, reforçando a importância de princípios como a Inteligência Artificial Explicável (XAI) e de políticas inclusivas, capazes de assegurar justiça, transparência e equilíbrio na implementação das tecnologias urbanas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa buscará evidenciar que a aplicação de Inteligência Artificial (IA) e Digital Twins no planejamento urbano não deverá ser compreendida apenas pela ótica tecnicista, mas analisada como um fenômeno sociotécnico, atravessado por dimensões éticas, políticas e culturais. Ao reconhecer que tais tecnologias poderão carregar tanto potenciais de transformação quanto riscos de aprofundar desigualdades, o estudo buscará deslocar o debate do eixo puramente funcional para um horizonte crítico, capaz de articular inovação com responsabilidade social.

A análise crítica procurará indicar que o discurso predominante tenderá a exaltar a eficiência e a sustentabilidade, mas frequentemente negligenciará a realidade de cidades marcadas por desigualdade estrutural, exclusão digital e fragilidade de governança pública. Nesse sentido, a etapa de construção de cenários prospectivos buscará ir além de exercícios de futurologia tecnológica, funcionando como um instrumento estratégico para revelar contradições, antecipar conflitos e propor alternativas inclusivas e adaptadas a diferentes contextos urbanos.

A reflexão ética, por sua vez, deverá reforçar que IA e Digital Twins não serão ferramentas neutras: poderão reproduzir vieses, legitimar decisões excludentes ou, ao contrário, atuar como mecanismos de democratização do espaço urbano. Por isso, pretende-se defender a adoção de princípios como a Inteligência Artificial Explicável (XAI), a criação de indicadores sociais aplicáveis e o fortalecimento de práticas participativas que assegurem transparência e equidade.

Dessa forma, a pesquisa buscará contribuir para reposicionar a discussão sobre IA e Digital Twins, indo além da técnica para propor caminhos metodológicos que integrarão inovação digital, justiça social e sustentabilidade urbana. Mais do que sugerir tecnologias para a cidade, o trabalho procurará reforçar a construção de cidades para as pessoas, em que ciência e técnica estejam a serviço da vida coletiva, da inclusão e da equidade.



REFERÊNCIAS

ALLEN, B. D. *Digital Twins and Living Models at NASA*. NASA Technical Reports Server, 2021. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20210023699>. Acesso em: 14 set. 2025.

JUNFENG, Y. *Tecnologia “digital twin” proporciona novas perspectivas de desenvolvimento*. People’s Daily Online, 2023. Disponível em: <https://portuguese.people.com.cn/n3/2023/1025/c309806-20088876.html>. Acesso em: 14 set. 2025.

LEI, B. et al. *Challenges of Urban Digital Twins: A Systematic Review and a Delphi Expert Survey*. *Automation in Construction*, v. 147, p. 104716, 2023.

LU, Q. et al. *Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus*. *Journal of Management in Engineering*, v. 36, n. 3, p. 05020004, 2020.

YAMAUCHI, C. K. et al. *Digital Twin no Contexto de Mobilidade Urbana*. *Anais da XIX Escola Regional de Banco de Dados (ERBD 2024)*, p. 150–153, 2024.

YANG, Z. et al. *Digital Twins in Construction: Architecture, Applications, Trends and Challenges*. *Buildings*, v. 14, n. 9, p. 2616, 2024.