



RECALCULANDO A ROTA
NA (DES)FRAGMENTAÇÃO
GLOBAL PRODUTIVA

26 a 29 de novembro de 2025

Cidades Inteligentes e Gêmeos Digitais: Solução Inovadora para o Planejamento do Centro Histórico de Salvador *Smart Cities and Digital Twins: Innovative Solutions for Sustainable Planning in Salvador's Historic Center Cities*

Joberto S. B. Martins

Programa de Desenvolvimento Regional e Urbano (PPDRU)

Universidade Salvador (UNIFACS)

joberto.martins@animaeducacao.com.br

Lucas Almeida de Souza

Programa de Desenvolvimento Regional e Urbano (PPDRU) - UNIFACS

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI

E-mail: professorlucas.souza01@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado e desorganizado e a falta de um planejamento sustentável têm intensificado os impactos ambientais em diversas cidades ao redor do mundo. Para Orsi (2023), o planejamento urbano é uma ferramenta essencial para a promoção de cidades resilientes e sustentáveis. De acordo com Oliveira (2023), a sustentabilidade ambiental visa o desenvolvimento de modos sustentáveis e ambientalmente equilibrados de exploração, já que são necessários para que não se perca o que ainda resta de patrimônio ambiental.

No Brasil, o Centro Histórico de Salvador, reconhecido como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO, enfrenta desafios significativos relacionados ao seu planejamento ambiental, enfrentamento das mudanças climáticas, otimização e facilitação do fluxo de turistas e ilhas de calor, fenômeno este causado pela concentração de materiais que absorvem e retêm calor, reduzindo o conforto térmico e qualidade de vida da população. Esse problema em particular se agrava devido à escassez de áreas verdes, a alta densidade de edificações e ao uso inadequado do solo, comprometendo não apenas o meio ambiente, mas também o patrimônio histórico e cultural da região.

O planejamento urbano é um instrumento essencial para a organização racional do espaço e para a promoção de cidades mais justas, sustentáveis e funcionais. Segundo Villaça (1998), o planejamento urbano deve ser entendido como um processo político e técnico que visa orientar a produção do espaço urbano de forma a atender aos interesses coletivos, e não apenas às demandas do mercado. O planejamento urbano desempenha papel essencial na mitigação dos impactos ambientais decorrentes da urbanização acelerada, especialmente no que se refere à formação das ilhas de calor. Essas ilhas resultam da substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, que absorvem e retêm calor, elevando as temperaturas locais.

Novas abordagens têm sido estudadas para otimizar o planejamento urbano e minimizar os impactos ambientais. Entre elas, a estratégia das cidades inteligentes oferece soluções inovadoras para uma gestão sustentável dos espaços urbanos, integrando tecnologia e governança para melhorar a qualidade de vida da população (ALBINO et al., 2015, p. 13).

Para Silva et al. (2024), a estratégia das cidades inteligentes se baseia na ideia de que a tecnologia pode melhorar significativamente o planejamento urbano, tornando os processos mais eficientes e responsivos. Essa estratégia promete reduzir desperdícios, melhorar a resiliência, mitigar as mudanças climáticas, otimizar a mobilidade, ampliar o acesso a serviços públicos, entre outras possibilidades.

Os gêmeos digitais (*Digital Twin - DT*) surgem como uma nova ferramenta de gestão, permitindo a representação virtual do ambiente urbano. Um gêmeo digital, em resumo, replica



com precisão um ativo físico, processo ou sistema e, dessa forma, possibilita a análise dos seus dados. O gêmeo digital tem o potencial de prover subsídios para políticas públicas e estratégias de planejamento urbano (Batty (2018); Omrany et al. (2024)).

Neste cenário surge então a seguinte questão: **Como uma solução inovadora numa estratégia de cidade inteligente com gêmeo digital pode transformar o planejamento urbano do Centro Histórico de Salvador?**

Este texto está estruturado da seguinte forma: na primeira seção, foi feita uma breve introdução, seguida, da justificativa e objetivos do trabalho. Posteriormente, é apresentada uma fundamentação teórica introdutória e a proposta desenvolvida seguida da metodologia, e, por fim, são destacados os resultados e feitas as considerações finais.

2 JUSTIFICATIVA

Embora o Centro Histórico de Salvador (Pelourinho) seja reconhecido mundialmente por seu valor arquitetônico e cultural, a região enfrenta um conjunto complexo de problemas socioambientais, como degradação física, aumento das temperaturas médias, impermeabilização do solo e escassez de áreas verdes. Esses fatores intensificam as ilhas de calor e reduzem o conforto térmico, afetando tanto os moradores quanto os fluxos turísticos, principais vetores econômicos do território. Tais questões demandam soluções integradas que aliem tecnologia, governança e sustentabilidade.

A opção de gêmeo digital como instrumento de planejamento urbano se justifica pela crescente urgência em se repensar o planejamento urbano frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela urbanização acelerada, especialmente em contextos de grande relevância histórica e cultural, como o Pelourinho. A aplicação dessa ferramenta viabiliza a criação de modelos urbanos mais resilientes, capazes de monitorar, simular e prever cenários ambientais em tempo real, fornecendo dados estratégicos para subsidiar decisões públicas e privadas.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui com o uso de tecnologias emergentes na gestão urbana, ainda pouco explorado no contexto mundial, particularmente em áreas de valor patrimonial. Já sob a perspectiva prática, pretende oferecer subsídios para políticas públicas e estratégias de planejamento urbano que conciliem preservação cultural, mitigação de impactos ambientais e melhoria da qualidade de vida.

3 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo geral avaliar como uma estratégia de cidade inteligente com gêmeo digital pode transformar o planejamento urbano do Centro Histórico de Salvador (Pelourinho).

Os objetivos específicos podem ser observados a seguir:

- Identificar os principais impactos ambientais relacionados ao crescimento urbano desordenado, com foco na formação das ilhas de calor no Pelourinho;
- Analisar como o planejamento urbano pode contribuir para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e preservar o patrimônio histórico;
- Avaliar o potencial da estratégia de cidade inteligente na promoção de uma gestão urbana mais eficiente e resiliente;
- Propor um modelo de gêmeo digital para o Pelourinho voltado ao monitoramento e à simulação de cenários urbanos e ambientais; e
- Discutir como a integração entre sustentabilidade, tecnologia e governança pode subsidiar políticas públicas voltadas à requalificação do Pelourinho.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O planejamento urbano constitui um dos pilares fundamentais para a organização e o desenvolvimento equilibrado das cidades, promovendo a melhoria da qualidade de vida e a sustentabilidade socioambiental. Segundo Villaça (1998), o planejamento urbano deve ser



entendido como um processo político e técnico voltado para a estruturação do território, de modo a responder às demandas sociais, econômicas e ambientais de uma população em constante transformação. Lefebvre (1991) ressalta que a cidade é uma construção social e histórica, resultante das relações entre espaço, poder e cotidiano, e, portanto, o planejamento urbano deve incorporar essas dinâmicas para ser inclusivo e sustentável. Nessa perspectiva, o planejamento urbano contemporâneo transcende a dimensão físico-espacial e passa a integrar dimensões ambientais, culturais e tecnológicas, articulando políticas públicas e estratégias de mitigação das desigualdades socioespaciais. (RIPP et al., 2025, p. 13)

No contexto dos centros históricos, o planejamento urbano assume desafios adicionais relacionados à preservação patrimonial, à requalificação dos espaços e à adaptação às mudanças climáticas. Essas áreas concentram grande densidade construtiva e menor presença de vegetação, o que as torna mais vulneráveis à formação das ilhas de calor urbanas, fenômeno que eleva as temperaturas locais e compromete o conforto térmico e a vitalidade dos espaços públicos. Segundo Romero et al. (2013), as ilhas de calor são resultantes da substituição de superfícies naturais por materiais impermeáveis, como concreto e asfalto, que absorvem e retêm calor. Monteiro e Mendonça (2015) reforçam que a incorporação da dimensão climática ao planejamento urbano é essencial para a construção de cidades mais resilientes. Assim, no caso de centros históricos, é necessário aliar a conservação do patrimônio cultural à implementação de soluções ambientais e tecnológicas que reduzam os impactos do adensamento urbano e promovam o equilíbrio térmico e ecológico.

A literatura recente aponta que a transformação digital das cidades é um caminho promissor para enfrentar tais desafios. De acordo com Silva et al. (2024), o conceito de cidades inteligentes propõe a integração entre tecnologia, governança e sustentabilidade, com o uso de sensores, sistemas interconectados e algoritmos para otimizar processos urbanos e reduzir impactos ambientais. Essa abordagem busca não apenas eficiência técnica, mas também a promoção de bem-estar social, inclusão e governança participativa.

De acordo com Grieves (2019), um gêmeo digital consiste em uma réplica virtual de um ativo físico, sistema ou processo, continuamente atualizada por dados coletados do ambiente real. Ainda para o autor, essa interconexão entre o espaço físico e o espaço digital permite retroalimentação constante, viabilizando a antecipação de problemas e a otimização de soluções. No contexto urbano, tal modelo torna-se uma ferramenta poderosa para o planejamento sustentável e a governança inteligente das cidades.

5 PROPOSTA DESENVOLVIDA

A arquitetura de gêmeo digital para o Pelourinho proposta neste estudo pode ser observada na Figura 1.

A arquitetura desenvolvida é composta por camadas, aplicações e componentes. As cinco (5) camadas da arquitetura são hierárquicas e interagem para representar, monitorar e otimizar o ambiente físico. Cada camada promove suas aplicações locais e cada aplicação destaca os componentes envolvidos.

A camada física (1) representa o mundo real, os ativos físicos (edifícios, infraestrutura urbana, equipamentos, veículos, pessoas, outros). É onde ocorre a interação real-tempo entre o ambiente físico e a representação ou modelo digital.

A camada de dados (2) é responsável por coletar, armazenar, integrar e processar os dados oriundos da camada física. Envolve troca de dados, sistemas de banco de dados espaciais, e mecanismos de sincronização temporal e geoespacial.

A camada de modelagem e simulação (3), constrói o modelo virtual (2D, 3D ou semântico) que replica o ambiente físico do Pelourinho. Essa camada inclui modelos de fotogrametria, GIS (*Geographic Information System*), BIM (*Building Information Modeling*) e simulações preditivas como, por exemplo, modelos de dispersão de calor ou de fluxo de urbano.

A camada de inteligência e análise (4), aplica técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina nos dados do Pelourinho para identificar padrões e prever comportamentos do sistema urbano. É crucial para simulações preditivas, alertas inteligentes, otimização de diversos tipos e tomada de decisão automatizada.

A camada de aplicação e visualização (5), permite que gestores públicos, urbanistas e pesquisadores trabalhem com os dados coletados, processados e seus indicadores, testem, por exemplo, políticas públicas e ações de intervenção urbana e monitorem os resultados das ações.

A arquitetura de gêmeo digital proposta é uma estratégia de criação de modelos urbanos mais eficientes que, por sua vez, são importantes para locais de relevância histórica e cultural onde as intervenções carecem de uma análise apurada quanto aos seus impactos. O gêmeo digital do Pelourinho possibilita a construção de estratégias urbanas baseadas em evidências, reduzindo incertezas e fortalecendo o planejamento urbano.

Figura 1- Arquitetura do Gêmeo Digital para o Centro Histórico de Salvador (Pelourinho)



Fonte: Elaborado pelos autores

Na perspectiva dessa arquitetura, o gêmeo digital deve ser compreendido como um instrumento de gestão urbana colaborativa, capaz de conectar diferentes atores, como o poder público, universidades, setor privado e comunidade, em torno de objetivos comuns como a sustentabilidade e a resiliência climática.

6 METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando técnicas de modelagem urbana, análise ambiental e simulações computacionais para compreender a relação entre ilhas de calor urbanas e resiliência climática no planejamento sustentável do Centro Histórico de Salvador.

A pesquisa será exploratória e descritiva, buscando compreender como as cidades inteligentes e os gêmeos digitais podem ser aplicados na mitigação das ilhas de calor. Além disso, será adotado um estudo de caso focado no Centro Histórico de Salvador, analisando as condições ambientais e estruturais da região. Neste contexto, a pesquisa será aplicada, objetivando a criação de soluções sustentáveis para o planejamento urbano.

Os procedimentos metodológicos envolverão o levantamento bibliográfico e



documental, através de revisão de literatura sobre sustentabilidade ambiental, ilhas de calor, cidades inteligentes e gêmeos digitais. Além disso, será realizada uma análise das políticas públicas e diretrizes urbanas para cidades históricas e sustentáveis.

Em relação ao processo de coleta de dados, serão coletados ou identificados dados ambientais e climáticos para medições de temperatura superficial de qualidade do ar na região do centro histórico. Além disso, o sensoriamento remoto e imagens de satélite para identificação de padrões térmicos e vegetação urbana serão considerados. Entrevistas e questionários com gestores urbanos, especialistas e moradores locais sobre impactos das ilhas de calor e possibilidades de mitigação serão igualmente utilizados.

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados do gêmeo digital do Pelourinho evidenciam o potencial transformador das estratégias de cidades inteligentes associadas ao uso de gêmeos digitais no contexto do planejamento urbano do Centro Histórico de Salvador. A aplicação dessa estratégia permite a construção de um modelo digital capaz de representar de forma precisa o ambiente urbano, possibilitando análises que subsidiem decisões mais sustentáveis e eficientes em termos de gestão territorial e ambiental.

O gêmeo digital do Pelourinho proporciona uma maior compreensão sobre o comportamento térmico urbano da região, especialmente nas áreas mais afetadas pelas ilhas de calor. A partir da coleta e processamento de dados, por exemplo, se identificam os padrões de temperatura, densidade construtiva, fluxo de pessoas e cobertura vegetal, permitindo mapear as zonas mais críticas e orientar intervenções que reduzam os impactos ambientais. Tais informações contribuem para o aprimoramento das políticas públicas de mobilidade, ocupação do solo e preservação ambiental.

A expectativa é que os resultados finais apontem para a viabilidade da utilização de gêmeo digital no planejamento urbano, destacando como estes podem apoiar uma governança urbana mais inteligente, participativa e baseada em evidências. Espera-se que o gêmeo digital do Pelourinho demonstre a possibilidade de simular diferentes cenários de intervenção, como aumento de áreas verdes, adoção de materiais sustentáveis ou redirecionamento de fluxos turísticos, e avaliar, de forma antecipada, seus efeitos sobre o microclima e sobre o equilíbrio entre uso urbano e preservação patrimonial.

Do ponto de vista ambiental, projeta-se que o gêmeo digital do Pelourinho possibilite uma avaliação de soluções para uma redução significativa dos efeitos das ilhas de calor, contribuindo para o aumento do conforto térmico e da qualidade de vida da população residente e visitante. Além disso, espera-se que a análise de dados ambientais permita o monitoramento contínuo de indicadores climáticos e urbanos, tornando o processo de planejamento mais dinâmico e adaptativo às mudanças locais.

Sob o enfoque social e econômico, os resultados esperados incluem melhoria da atratividade turística, impulsionamento da economia criativa e fortalecimento da identidade cultural do Pelourinho, ao alinhar a conservação do patrimônio com práticas sustentáveis e inovadoras.

Do ponto de vista científico, o estudo contribui para consolidar o uso de gêmeo digital como uma ferramenta de apoio ao planejamento urbano sustentável, sobretudo em áreas de relevância histórica e cultural. A expectativa é que o modelo desenvolvido sirva como prova de conceito replicável, podendo ser adaptado a outros centros históricos e cidades brasileiras ou em outros países com características semelhantes.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa aborda o enfrentamento dos impactos climáticos e das ilhas de calor no Centro Histórico de Salvador com a aplicação de tecnologias digitais emergentes, como os gêmeos digitais, aliadas aos princípios das cidades inteligentes, visando construir uma



alternativa viável e estratégica para conciliar preservação patrimonial, sustentabilidade e inovação tecnológica.

O foco é no planejamento urbano do futuro que deve se basear em dados e análises inteligentes, permitindo um planejamento mais assertivo. O estudo contribui tanto para o avanço teórico sobre gestão ambiental urbana quanto para a formulação de políticas públicas voltadas à resiliência climática e à governança inteligente.

A adoção dessas soluções no Centro Histórico de Salvador representa um modelo replicável para outras cidades brasileiras, promovendo um urbanismo digital, sustentável e inclusivo, em sintonia com os desafios do século XXI.

Por fim, o trabalho apresentado reforça a importância de um planejamento urbano que combine governança inteligente, tecnologia e sustentabilidade, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), particularmente aqueles relacionados à ação climática (ODS 13) e cidades sustentáveis (ODS 11).

REFERÊNCIAS

- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. *Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives*. *Journal of Urban Technology*, v. 22, n. 1, p. 3–21, 2015.
- BATTY, M. *Digital twins*. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, v. 45, n. 5, p. 817–820, 2018. DOI: 10.1177/2399808318796416.
- GRIEVES, M. *Oringis of the Digital Twin Concept*. 2002. Disponível em http://www.researchgate.net/publication/307509727_Oringins_of_the_Digital_Twin_Concept. Acesso em 12.jun 2025.
- LEFEBVRE, Henri. *The Production of Space*. Oxford: Blackwell, 1991.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco de Assis. *Clima urbano*. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2015.
- OLIVEIRA, Elizabeth W. M. de et al. *Economia Sustentável: Uma inovação possível? Como? Organizações e Sustentabilidade*. Londrina, PR: UEL. v. 2. n. 1, p. 138-160, 2014.
- OMRANY, Hossein; MEHDIPOUR, Armin; OTENG, Daniel. *Digital Twin Technology and Social Sustainability: Implications for the Construction Industry*. *Sustainability*, Basel, v. 16, n. 19, p. 8663, 2024. DOI: [10.3390/su16198663](https://doi.org/10.3390/su16198663).
- Orsi, Rafael (2023), *As mudanças climáticas globais e as cidades: a inserção da problemática nas políticas públicas locais, Simbiótica*. *Revista Eletrônica*, vol. 10, nº 3, pp. 96-113.
- RIPP, Matthias; GUSTAFSSON, Christer; JONES, Zachary; et al. *Historic Urban Landscapes and Heritage Systems as the Basis for Sustainable Urban Development*. *Land*, v. 14, n. 9, p. 1783, 2025.
- ROMERO, Marta Adriana Bustos. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. Brasília: Editora UnB, 2013.
- SILVA, A. L. C.; BENINI, S. M.; GODOY, J. A. R. de. *Cidades Inteligentes e Cidades Sustentáveis: contradições e sinergia para a construção de um modelo integrado*. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, Boa Vista, v. 20, n. 58, p. 350–382, 2024.
- VILLAÇA, Flávio. *Espaço intra-urbano no Brasil*. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 1998.