

**Inteligência artificial e softwares especializados: integrando estratégias
para o planejamento resiliente e gestão ambiental urbana**

Carlos Quedas Campoy

Professor Doutor, Universidade São Judas Tadeu, Brasil

prof.carloscampoy@usjt.br

ORCID 0000-0002-2692-6237

Amanda Maria Rabelo Souza

Doutoranda, Universidade São Judas Tadeu, Brasil

amanda.rabelo@ulife.com.br

ORCID 0000-0003-1536-7668

Cleide Izidoro

Doutoranda, Universidade São Judas Tadeu, Brasil

cleide.izidoro@ulife.com.br

ORCID 0009-0002-6089-8062

Inteligência artificial e softwares especializados: integrando estratégias para o planejamento resiliente e gestão ambiental urbana

RESUMO

Objetivo - Este artigo objetiva analisar criticamente o potencial da integração entre tecnologias de inteligência artificial e softwares especializados, como estratégias para aprimorar o planejamento urbano resiliente e a gestão ambiental frente às mudanças climáticas.

Metodologia - Fundamenta-se em revisão bibliográfica e levantamento analítico de ferramentas digitais avançadas, com foco em aplicações urbanas.

Originalidade/relevância - Insere-se na lacuna teórica sobre a aplicação integrada da inteligência artificial para enfrentar a alta dimensionalidade de dados urbanos complexos, propondo abordagens metodológicas inovadoras e replicáveis.

Resultados - Identifica-se que tais tecnologias permitem simulações preditivas, geração de soluções espaciais adaptativas e apoio à decisão estratégica, reduzindo a complexidade analítica e ampliando a eficácia do planejamento.

Contribuições teóricas/metodológicas – Oferece-se uma matriz metodológica integrada e flexível, com diretrizes práticas e fundamentos técnico-científicos aplicáveis à governança urbana sustentável.

Contribuições sociais e ambientais - As soluções propostas favorecem a inclusão comunitária, promovem cidades mais resilientes e apoiam a mitigação de impactos ambientais severos.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente urbano. Inteligência Artificial. Resiliência.

Artificial Intelligence and specialized software: integrating strategies for resilient planning and urban environmental management

ABSTRACT

Objective – This paper aims to critically analyze the potential of integrating artificial intelligence technologies and specialized software as strategies to enhance resilient urban planning and environmental management in the face of climate change.

Methodology – The study is based on a literature review and an analytical survey of advanced digital tools, focusing on urban applications.

Originality/Relevance – It addresses the theoretical gap concerning the integrated application of artificial intelligence to tackle the high dimensionality of complex urban data, proposing innovative and replicable methodological approaches.

Results – The study finds that such technologies enable predictive simulations, the generation of adaptive spatial solutions, and support strategic decision-making, reducing analytical complexity and improving planning effectiveness.

Theoretical/Methodological Contributions – The article offers an integrated and flexible methodological framework, with practical guidelines and technical-scientific foundations applicable to sustainable urban governance.

Social and Environmental Contributions – The proposed solutions foster community inclusion, promote more resilient cities, and support the mitigation of severe environmental impacts.

KEYWORDS: Urban Environment. Artificial Intelligence. Resilience.

Inteligencia Artificial y softwares especializados: integrando estrategias para la planificación resiliente y la gestión ambiental urbana

RESUMEN

Objetivo – Este artículo tiene como objetivo analizar críticamente el potencial de la integración entre tecnologías de inteligencia artificial y softwares especializados, como estrategias para mejorar la planificación urbana resiliente y la gestión ambiental frente al cambio climático.

Metodología – Se basa en una revisión bibliográfica y en un levantamiento analítico de herramientas digitales avanzadas, con enfoque en aplicaciones urbanas.

Originalidad/Relevancia – Se inserta en la brecha teórica sobre la aplicación integrada de la inteligencia artificial para enfrentar la alta dimensionalidad de los datos urbanos complejos, proponiendo enfoques metodológicos innovadores y replicables.

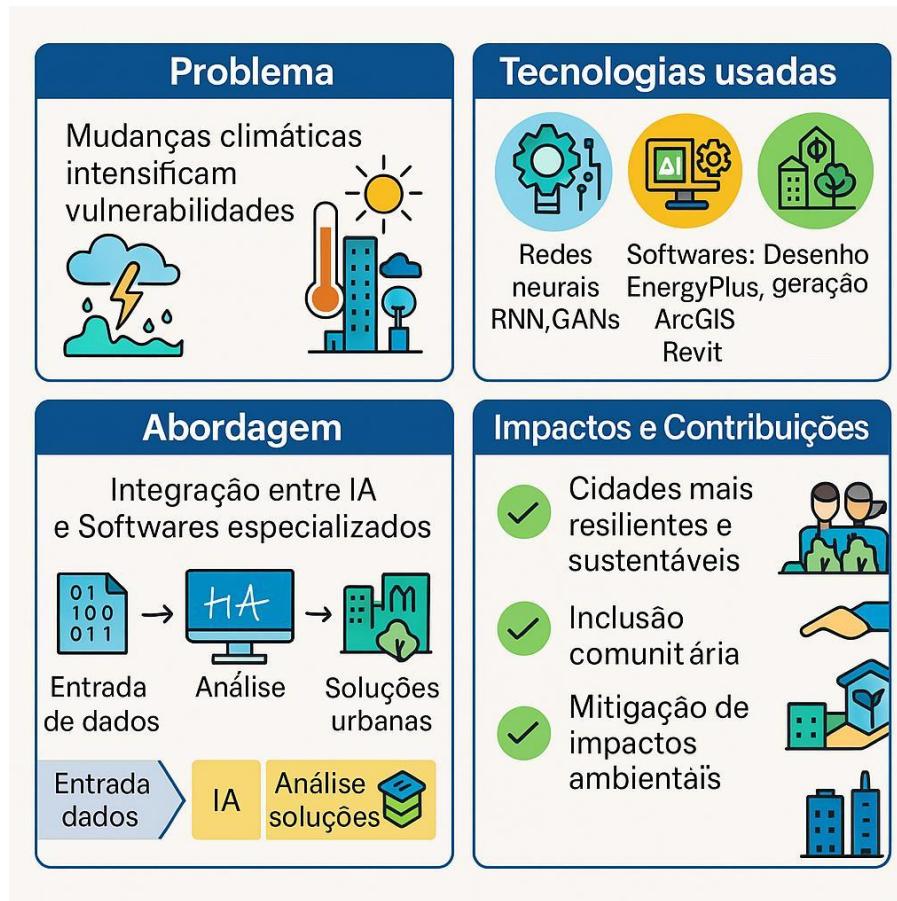
Resultados – Se identifica que dichas tecnologías permiten simulaciones predictivas, generación de soluciones espaciales adaptativas y apoyo a la toma de decisiones estratégicas, reduciendo la complejidad analítica y ampliando la eficacia de la planificación.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Se ofrece una matriz metodológica integrada y flexible, con directrices prácticas y fundamentos técnico-científicos aplicables a la gobernanza urbana sostenible.

Contribuciones Sociales y Ambientales – Las soluciones propuestas favorecen la inclusión comunitaria, promueven ciudades más resilientes y apoyan la mitigación de impactos ambientales severos.

PALABRAS CLAVE: Ambiente urbano. Inteligencia Artificial. Resiliencia.

RESUMO GRÁFICO



1 INTRODUÇÃO

As cidades contemporâneas têm vivenciado, de forma cada vez mais recorrente, os impactos provenientes das mudanças climáticas e de eventos extremos (Biernath, 2025; Cornwell, 2024; Erdenesanaa, 2025; Maes, 2024). Esses fenômenos ambientais se tornam catalisadores de vulnerabilidades socioeconômicas preexistentes, entre outras, comprometendo a qualidade de vida urbana. Ondas de calor intensas e tempestades severas, causando inundações, são exemplos manifestos das consequências diretas das alterações climáticas, oriundas de ações antropocêntricas. Regiões do Brasil têm enfrentado a transformação de um clima semiárido para árido (Oliveira, 2024). Ao passo que, cerca de metade das cidades mais populosas do mundo estão se tornando mais chuvosas (Bernard; Mooney, 2025). Tal realidade é agravada por deficiências históricas no planejamento urbano (Edwards, 2004; McDonough 2024).

Diante desse contexto dinâmico – caracterizado pela interação entre múltiplas variáveis ambientais, sociais e econômicas –, emerge a urgência de repensar profundamente as estratégias de planejamento e a gestão ambiental, ambas tradicionais ou isoladas. Deve-se desenvolver visões e práticas inovadoras, promovendo planejamentos resilientes e gestões ambientais integradas e eficientes no contexto urbano. O conceito de resiliência é compreendido não apenas como capacidade de resistência a impactos adversos, mas sobretudo como a habilidade de adaptação ativa e transformação positiva frente às circunstâncias de crise (Datola, 2023; Edwards, 2004; McDonough 2024; Ribeiro; Gonçalves, 2019).

Contudo, muitas vezes, o desafio de lidar com essas questões ultrapassa a capacidade orgânica de compreensão, devido à extraordinária complexidade das variáveis envolvidas. As cidades, sendo sistemas complexos por excelência, caracterizam-se por múltiplas variáveis sobrepostas e interdependentes que interagem em diversas escalas e temporalidades de forma não-linear (Morin, 2005). Outro ponto delicado está na qualidade das matrizes de dados e no tipo de tratamento aplicado ou no nível de compreensão atingido na identificação de padrões (Martínez-Peláez *et al.*, 2023; Jacob, 2024; United Nations, 2015). Variáveis e dados, numerosos e inter-relacionados, conformam um espaço conceitual de alta dimensionalidade (Ames; Mazzotti, 2023; Zenil *et al.*, 2020), cuja análise é frequentemente comprometida pelo fenômeno conhecido como "maldição da alta dimensionalidade" (Bodt *et al.*, 2018). Tal fenômeno refere-se, entre outras condições, principalmente à dificuldade crescente em extraír informações relevantes à medida em que o número de variáveis analisadas aumenta exponencialmente, exigindo, portanto, abordagens analíticas diferenciadas.

Na alta dimensionalidade, não se parte de um espaço vazio e inerte, como o cartesiano, mas sim da abundância de dados em uma espacialidade ativa. Cada dado é entendido como uma dimensão complexa, em si, pois abarca aspectos quantitativos e qualitativos, cujos múltiplos atributos individuais podem se conectar aos de outros dados, de forma contraintuitiva. As diferenças entre as distâncias euclidianas máximas e mínimas entre os dados se tornam irrelevantes, o que tende a dificultar extremamente a identificação de padrões. Portanto, somente por abordagens probabilísticas computadorizadas é possível calcular os espaços e os pesos das relações entre dados, promovendo alguma identificação de padrões por meio da redução da alta dimensionalidade, assim como do seu respectivo fenômeno, sem perdas críticas de atributos essenciais, ademais, desde um ponto de vista epistemológico (Ames; Mazzotti, 2023; Bodt *et al.*, 2018; Zenil *et al.*, 2020).

Dessa forma, reforça-se que estratégias tradicionais de planejamento – muitas vezes rígidas, desconexas, linearmente estruturadas e passivas –, mostram-se inadequadas ou superficiais para gerenciar essa magnitude de dados ou variáveis e as suas interações dinâmicas. Torna-se imprescindível o emprego de abordagens inovadoras, cuja integração de métodos tecnológicos ativos, especialmente aqueles fundamentados na inteligência artificial, mas também com suporte de outros softwares especializados, é preponderante (Bernstein, 2022; Campo, 2022; Chaillou, 2022; Leach, 2022). Outra vantagem na integração entre tecnologias e métodos reside, justamente, na complementaridade de quesitos direcionada a extrapolar as limitações inerentes a quaisquer sistemas.

Nestes sentidos, o presente artigo propõe explorar o potencial da inteligência artificial associada a softwares especializados, como uma plataforma integrada e eficaz para mitigar a complexidade analítica advinda da alta dimensionalidade em contextos urbanos. Pretende-se, com isso, abrir caminhos para soluções mais robustas e integradas que possam contribuir significativamente para a resiliência urbana e a sustentabilidade socioambiental.

A relevância acadêmica e social do tema proposto se justifica não apenas pela necessidade de conter a intensificação e o agravamento das consequências provenientes dos fenômenos climáticos extremos já mencionados, mas também pela urgente necessidade de respostas teórico-práticas que estejam à altura da complexidade dos desafios urbanos contemporâneos. À comunidade acadêmica, em particular, interessa o desenvolvimento de abordagens integrativas que proporcionem soluções aplicáveis e replicáveis no campo da gestão urbana, suscitando debates profícuos e abrindo novas vias para investigações futuras.

Ademais, a população urbana poderá colher benefícios diretos e indiretos da aplicação dessas tecnologias e estratégias inovadoras. Embora tais benefícios se manifestem predominantemente no médio e no longo prazo, dada a natureza estratégica das intervenções propostas, espera-se que promovam melhorias tangíveis na qualidade de vida, segurança coletiva e sustentabilidade ambiental das cidades, consolidando assim ambientes urbanos mais resilientes e preparados para os desafios vindouros.

Após a delimitação temática e a apresentação da problemática central, passa-se a estabelecer com precisão os objetivos desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral consiste em analisar criticamente o potencial decorrente da integração entre tecnologias baseadas em inteligência artificial e softwares especializados, visando aprimorar os processos contemporâneos de planejamento urbano resiliente e gestão ambiental, em face às mudanças climáticas no ambiente construído.

Os objetivos específicos envolvem identificar limitações intrínsecas às tecnologias empregadas, bem como refletir sobre as implicações técnicas resultantes de sua adoção, oferecendo uma compreensão negociada entre as oportunidades e os desafios que tal integração suscita. Complementarmente, intenta-se propor uma metodologia replicável para a implementação dessas tecnologias, incluindo a compilação de recomendações técnicas e operacionais direcionadas a planejadores urbanos e tomadores de decisão.

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa é fundamentada sobre uma revisão bibliográfica (Lakatos; Marconi, 2019), visando reunir conceitos centrais acerca das mudanças climáticas, resiliência urbana e planejamento estratégico, além de identificar estudos anteriores que correlacionem essas temáticas com o uso de tecnologias digitais avançadas. Em complemento, empreende-se um levantamento criterioso e analítico de softwares especializados e outros baseados em inteligência artificial adequados à problemática urbana investigada.

4 RESULTADOS

Por meio da integração tecnológica sugerida, é possível posicionar o computador como um sócio ativo, ou um consultor especializado, para planejadores, gestores, arquitetos e urbanistas. Desde uma perspectiva analítica abrangente, especialmente na busca por padrões, possibilita-se a simulação preditiva dos impactos decorrentes das mudanças climáticas, mas também a otimização energética e térmica das edificações e espaços urbanos, o emprego de design generativo voltado à formulação de soluções adaptativas para a resiliência urbana, além do planejamento adaptativo fundamentado em cenários prospectivos e prognósticos climáticos. As tecnologias permitem uma gestão integrada de dados ambientais urbanos, fortalecendo substancialmente o suporte às decisões estratégicas e à governança local.

A seguir, apresenta-se alguns apontamentos e reflexões analíticas que procuram aproximar os problemas urbanos e ambientais às soluções plausíveis, manifestadas sob a forma de estratégias, mas amparadas pelo campo da informática aplicada. Todos esses quesitos são convergentes para lidar com a complexidade de dados e a redução da alta dimensionalidade.

A adoção de fontes alternativas de energia se apresenta como medida estratégica essencial para mitigar efeitos deletérios das ilhas de calor urbanas e reduzir as emissões de gases de efeito estufa nas cidades contemporâneas (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). Ao garantir o acesso à energia limpa e economicamente viável, promove-se um progresso sustentável, que é simultaneamente econômico e social. Neste sentido, a utilização de técnicas de inteligência artificial preditiva, particularmente aquelas fundamentadas em aprendizado de máquina, como Redes Neurais Recorrentes (RNN) e LSTM (*Long Short-Term Memory*) (Bernstein, 2022; Leach, 2022), pode representar um avanço significativo para otimizar o consumo energético urbano.

Prosseguindo, essas técnicas podem ser empregadas para previsões sequenciais, como antecipação do consumo energético em edifícios com base em dados históricos e fatores climáticos. Softwares especializados, como EnergyPlus, Autodesk Insight e IES VE (*Integrated Environmental Solutions*) são exemplos de ferramentas eficazes para integrar tal propósito, oferecendo suporte à tomada de decisões informadas. Essas tecnologias permitem, ainda, a redução eficiente da alta dimensionalidade por meio da seleção automática das variáveis mais relevantes (*feature selection*), agrupamento de padrões similares no consumo energético (*clustering*), e pela geração de modelos preditivos, que trabalham com número reduzido e otimizado de variáveis-chave, sem prejuízo da qualidade e precisão das informações obtidas.

A estratégia de planejamento urbano contemporâneo, frente às incertezas intrínsecas decorrentes das mudanças climáticas, demanda métodos adaptativos capazes de transcender as limitações estruturais e a rigidez relativa às abordagens tradicionais (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). A necessidade de incorporar estratégias que reconheçam

explicitamente a imprevisibilidade inherente aos fenômenos climáticos exige uma reavaliação profunda dos paradigmas convencionais do urbanismo.

Nesse contexto, a aplicação de tecnologias baseadas em inteligência artificial, particularmente aquelas fundamentadas em modelos preditivos estocásticos e simulações dinâmicas, apresenta-se como uma alternativa promissora. Como exemplos, tem-se as Redes Neurais Convolucionais (ConvNets), aplicadas para identificar padrões espaciais em imagens térmicas e mapas urbanos, permitindo o monitoramento automático e otimização do desempenho energético dos edifícios em escala urbana (Bernstein, 2022; Leach, 2022). Outras ferramentas, como ArcGIS Urban, CityEngine e UrbanFootprint, ao permitirem análises prospectivas técnicas detalhadas e simulações baseadas em cenários futuros, tendem a conferir precisão e adaptabilidade integradas às estratégias de planejamento.

Complementarmente, essas últimas técnicas mencionadas contribuem significativamente para mitigar o problema da alta dimensionalidade inherente ao planejamento urbano. Refere-se às análises estatísticas de base estocástica, tais como a Análise de Componentes Principais (PCA), a Incorporação Estocástica de Vizinhança t-Distribuída (t-SNE) e análises de sensibilidade (Arnold; Kane; Lewis, 2019; Belkina *et al.*, 2019). A identificação dos cenários críticos mais relevantes, descartando as variáveis de menor influência, em conjunto com o aprendizado não-supervisionado, possibilita concentrar esforços preditivos apenas nos cenários mais prováveis, simplificando a gestão da informação sem prejuízo de sua robustez técnica e acurácia analítica.

A configuração urbana inadequada tem sido reconhecida como fator determinante no agravamento dos impactos das mudanças climáticas, especialmente pela amplificação de vulnerabilidades ambientais e sociais. Diante desse cenário, emerge, como solução estratégica, a concepção de uma forma urbana sustentável, alcançada por meio de avaliações criteriosas e reestruturações espaciais de seus componentes fundamentais, tais como edifícios, bairros e infraestrutura urbana (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021).

A inteligência artificial, especificamente a abordagem conhecida como design generativo, pode oferecer uma contribuição metodológica substancial a esse desafio. Indica-se as Redes Neurais Generativas Adversariais (GANs) aplicadas para gerar cenários urbanos alternativos com disposição espacial otimizada, visando melhorar ventilação natural, insolação e sustentabilidade ambiental, permitindo aos planejadores explorar rapidamente múltiplas alternativas projetuais antes da decisão final (Bernstein, 2022; Leach, 2022). Também se sugere Variational Autoencoders (VAE), utilizados na criação de modelos sintéticos urbanos, capazes de gerar layouts urbanos diversos que atendam simultaneamente aos critérios ambientais, sociais e econômicos definidos previamente, permitindo avaliar rapidamente diversas soluções espaciais.

Ferramentas tecnológicas especializadas, como TestFit, Arqgen, Architectures e Autodesk Forma, empregam algoritmos generativos para explorar soluções espaciais otimizadas, permitindo comparar parâmetros ambientais, sociais e econômicos. A eficácia desses métodos reside, em grande medida, na capacidade de reduzir significativamente a dimensionalidade do espaço de análise; por meio de algoritmos generativos avançados, eliminam-se soluções inviáveis, enquanto se privilegiam aquelas configurações espaciais que melhor respondem aos critérios de sustentabilidade, resiliência e eficiência.

Entende-se que uma estratégia integrativa de governança urbana se apresenta como alternativa necessária, fundamentada na ampliação da autonomia local, fortalecimento

institucional e capacitação técnica dos gestores urbanos.

Nesse âmbito, as tecnologias baseadas em Inteligência artificial, notadamente aquelas voltadas à análise e à gestão preditiva de dados urbanos, como a Inteligência Artificial Explicável (XAI), constituem instrumentos promissores (Bernstein, 2022; Leach, 2022). Softwares especializados, como ArcGIS Hub, IBM Watson Analytics e Microsoft Power BI, exemplificam ferramentas capazes de transformar volumosas bases de dados em informações visualmente inteligíveis e diretamente utilizáveis pelos tomadores de decisões. Ao empregar painéis inteligentes (*dashboards*) dotados de recursos avançados de visualização e clusterização, tais tecnologias conseguem reduzir a alta dimensionalidade informacional, sintetizando e destacando automaticamente as variáveis de maior relevância analítica e decisória. Tal procedimento facilita consideravelmente a compreensão dos fenômenos urbanos complexos, permitindo tomadas de decisão mais rápidas, seguras e embasadas por uma inteligência artificial explicável e transparente.

A intensificação do fenômeno das ilhas de calor urbanas constitui um dos desafios ambientais mais expressivos das cidades contemporâneas, resultando em elevação significativa das temperaturas locais, desconforto térmico e aumento dos riscos à saúde pública (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). Nesse contexto, destacam-se intervenções eficazes, como a adoção de infraestrutura verde e a implementação de telhados sustentáveis – sejam estes vegetados ou de alta refletância (*cool roofs*) –, que reduzem a temperatura urbana ao atenuarem a absorção de radiação solar.

Aliadas a essas técnicas físicas, as tecnologias baseadas em Inteligência artificial podem desempenhar papel significativo ao potencializar o diagnóstico e a implementação eficaz dessas intervenções. Especificamente, destacam-se aplicações de visão computacional e sensoriamento remoto, operadas por meio de Redes Neurais Convolucionais (ConvNets) (Bernstein, 2022; Leach, 2022). A integração com softwares avançados, como ENVI, Green Roof Energy Calculator e i-Tree Eco, permitem identificar automaticamente, por análise avançada de imagens aéreas e de satélites, as superfícies urbanas prioritárias para intervenções verdes. Ademais, a aplicação dessas tecnologias promove uma redução expressiva da complexidade analítica, graças à segmentação espacial inteligente – o *clustering* automático de áreas críticas –, permitindo uma abordagem precisa e orientada às regiões que mais demandam medidas mitigadoras contra os efeitos térmicos urbanos.

O design passivo se constitui como uma abordagem arquitetônica fundamental para enfrentar questões recorrentes no ambiente construído, notadamente aquelas relacionadas ao aquecimento excessivo e ao desconforto térmico em edificações (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). Tal problemática ganha relevância acrescida no contexto das mudanças climáticas, exigindo respostas técnicas capazes de mitigar esses impactos sem sobrecarregar o consumo energético artificial e nem gerar pegada de carbono nos processos industriais de produção de materiais.

Neste cenário, o posicionamento estratégico das edificações – orientando cuidadosamente as suas implantações em relação ao sol e aos ventos, bem como promovendo ventilação cruzada –, revela-se decisivo para otimizar o conforto térmico e reduzir demandas por sistemas mecânicos adicionais. De maneira complementar, o design passivo é especialmente direcionado à escolha ou ao desenvolvimento de materiais, formas, texturas e cores capazes de oferecer o maior conforto térmico e lumínico possíveis. Procura-se empregar materiais em sua constituição natural. Como técnicas construtivas exemplares, apontam-se a

taipa de pilão, o adobe, o superadobe, os telhados verdes, entre outros (van Lengen, 2021).

A fim de maximizar a eficácia e precisão dessas soluções passivas, indica-se a inteligência artificial generativa, como Generative Adversarial Networks condicionais (cGAN). Essa tecnologia é encontrada nativamente em ferramentas como o Autodesk Forma, que permitem a análise de soluções espaciais específicas e adaptativas, condicionadas a restrições ambientais (clima, insolação, ventilação, desempenho térmico), favorecendo propostas urbanísticas sustentáveis. Conjuntamente, pode-se aplicar a técnica analítica dos Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms*), disponíveis em ferramentas paramétricas de programação visual (*visual scripting*), como Grasshopper (um *plug-in* do software Rhinoceros). É importante destacar, neste escopo, que se refere à característica analítica das ferramentas, pois as mesmas também possuem características generativas, que serão explicadas na próxima abordagem estratégica.

Prosseguindo pelo caráter analítico, Algoritmos Genéticos são frequentemente utilizados para comparar múltiplas configurações modulares de edificações e bairros, proporcionando bases para tomadas de decisões baseadas na otimização espacial adaptativa e reduzindo significativamente o espaço de busca de soluções. Pensando em uma integração tecnológica ampliada, indica-se também softwares especializados, como Autodesk Revit associado ao Insight, ClimateStudio e as ferramentas paramétricas Ladybug e Honeybee, também disponíveis para o ambiente Grasshopper.

Esses instrumentos permitem reduzir significativamente a complexidade inerente ao processo de projeto por meio de técnicas que auxiliam com a seleção criteriosa das variáveis de posicionamento espacial mais eficazes, ademais sob a ótica térmica e energética. Tais ferramentas propiciam o agrupamento inteligente de configurações espaciais semelhantes, oferecendo meios robustos para eliminar alternativas ineficientes e destacando soluções viáveis, contribuindo decisivamente para a redução da complexidade analítica sem prejuízo à qualidade e rigor das propostas projetivas.

O design ativo surge como estratégia complementar, posicionando a máquina como uma entidade generativa de soluções geométricas plausíveis. Neste caso, não seria o oposto do design passivo, pois este último, como visto, refere-se à estratégias e elementos construtivos também entendidos pelo termo *low-tech* (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). O design ativo, especialmente quando concernente à escala urbanística, revela um arcabouço teórico, conceitual e morfológico conhecido como Cidades Inteligentes, ou *Smart Cities* (Amorim 2016; Bakelman et al. 2018; Kosowatz 2020).

Fundamentado na integração criteriosa de tecnologias mecânicas com o uso otimizado de fontes de energia renováveis, o design ativo visa garantir ambientes internos confortáveis por meio do controle inteligente e dinâmico dos sistemas de climatização. Também é dedicado a desenvolver cidades resilientes e sustentáveis para seres humanos, não para automóveis particulares. Smart Cities são cidades que utilizam tecnologias digitais, sensores urbanos, análise de *big data* e inteligência artificial para otimizar infraestrutura, serviços públicos e processos de governança, promovendo maior eficiência, sustentabilidade e qualidade de vida para os cidadãos. Essas cidades integram sistemas inteligentes de transporte, energia, gestão de resíduos, segurança e planejamento urbano, permitindo tomadas de decisão baseadas em dados em tempo real.

Neste contexto, a inteligência artificial desempenharia um papel fundamental ao permitir o gerenciamento automatizado e adaptativo desses sistemas, sobretudo através do uso

de algoritmos de aprendizado de máquina e automação inteligente. Como exemplos, indicam-se: Redes Neurais Convolucionais (CNNs - *Convolutional Neural Networks*); Redes Neurais Recorrentes (RNNs) e LSTM (*Long Short-Term Memory*); Redes Generativas Adversariais (GANs - *Generative Adversarial Networks*); Sistemas Multiagentes (MAS - *Multi-Agent Systems*); Aprendizado por Reforço (*Reinforcement Learning - RL*); Processamento de Linguagem Natural (NLP - *Natural Language Processing*) e Autoencoders e PCA (Análise de Componentes Principais) (Bernstein, 2022; Campo, 2022; Chaillou, 2022; Leach, 2022).

Essas ferramentas de inteligência artificial podem ser aplicadas, principalmente, na identificação de padrões, com base em dados históricos e atuais. Assim, estariam voltadas para o reconhecimento de imagens para vigilância urbana, assim como para as análises de tráfego e de mobilidade. Nesse último sentido, tem-se a simulação de interações complexas entre veículos autônomos, infraestrutura urbana (incluindo semáforos) e pedestres, para melhorar a mobilidade e reduzir congestionamentos. As ferramentas também seriam utilizadas para prever demanda energética relacionada com padrões climáticos urbanos e demandas públicas e privadas. Outra possibilidade está na criação de simulações realistas de ambientes urbanos, auxiliando no planejamento arquitetônico e na modelagem de cenários de crescimento, até com o auxílio de modelos baseados no desenvolvimento de fungos. A análise de *feedback* de cidadãos sobre serviços, detecção de reclamações e monitoramento de redes sociais para prever necessidades urbanas pode ser aprimorada por essas ferramentas.

Softwares especializados, tais como DesignBuilder, TRNSYS e Siemens Desigo CC, viabilizam a integração prática dessas estratégias por meio da gestão ativa e contínua dos parâmetros essenciais de desempenho energético e térmico das edificações.

Tais tecnologias possibilitam, ainda, uma significativa redução da complexidade analítica – ou da alta dimensionalidade característica do design ativo de Cidades Inteligentes –, ao identificar, selecionar e monitorar somente os parâmetros mais críticos ao desempenho térmico. Essa simplificação, associada à capacidade de adaptação contínua e otimizada às condições ambientais variáveis, resulta na diminuição da complexidade operacional sem comprometer a eficiência dos sistemas ou o conforto ambiental desejado.

Como exemplos de cidades que têm desenvolvido alguns aspectos do conceito Smart Cities, aponta-se Singapura, Songdo, Londres, Copenhague, Nova York, Paris, Granada, Rota, Aveiro e São Sebastião (Amorim 2016; Bakelmun *et al.* 2018; Kosowatz 2020; Prefeitura de São Sebastião, 2023).

Singapura é frequentemente citada como uma das cidades mais inteligentes do mundo. O governo implementou o programa Smart Nation, que integra tecnologia em diversos aspectos da vida urbana, desde transporte público eficiente até sistemas de saúde digitalizados. A cidade utiliza sensores e dados em tempo real para monitorar o tráfego, qualidade do ar e consumo de energia, promovendo uma gestão urbana altamente eficiente.

Songdo, localizada na Coreia do Sul, é reconhecida como uma cidade ubíqua, devido à sua ambiciosa proposta de integrar todo o seu sistema urbano à rede, através de sensores e mídias conectados a um grande centro de controle. A coordenação entre os dispositivos permite inúmeras aplicações, além de fazer da informação onipresente, dado que os prédios da cidade estão conectados entre si.

Londres, Copenhague e Nova York implementaram tecnologias avançadas para ajustar semáforos em tempo real e otimizar o transporte público. Em Paris, a inteligência artificial auxilia no planejamento de espaços verdes.

Em Granada, na Espanha, foi desenvolvido o projeto 5G CityBrain, que utiliza inteligência artificial avançada, sensores e conectividade de internet 5G para melhorar a gestão urbana em tempo real em áreas como monitoramento de poluição, segurança de dados e análise de fluxo turístico. Rota, também localizada na Espanha, implementou a inteligência artificial como ferramenta de guia turística personalizada por meio do projeto Cicerone. A ferramenta algorítmica personaliza rotas turísticas segundo as preferências do visitante e recolhe dados para criar um gêmeo digital da cidade, permitindo gerir eficientemente recursos em tempo real, especialmente em temporadas de grande afluência turística.

Em Aveiro, Portugal, foi introduzido um sistema de gestão urbana inteligente que fornece uma abordagem baseada em dados para analisar informações de tráfego, identificar oportunidades de redução de consumo de energia e detectar problemas de manutenção, como buracos nas estradas e calçadas, bem como o início de riscos como inundações e incêndios.

Pesquisadores da Unesp desenvolveram um modelo de inteligência artificial para mapear áreas de risco de deslizamento em São Sebastião, Brasil. O estudo teve o objetivo de desenvolver uma ferramenta que pudesse ser aplicada para auxiliar na tomada de decisão, no planejamento urbano e na gestão de riscos.

Voltando às estratégias de planejamento urbano e gestão ambiental, a seleção criteriosa de materiais resistentes e duráveis emerge como uma estratégia essencial no enfrentamento da vulnerabilidade estrutural das edificações, particularmente diante da frequência crescente de eventos climáticos extremos (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). O emprego de materiais especificamente concebidos para conferir resistência estrutural e desempenho térmico aprimorado, tais como o concreto reforçado e sistemas de janelas resistentes a impactos severos, constitui-se em resposta importante à mitigação de danos potenciais decorrentes desses fenômenos adversos.

Destaca-se que, apesar de alguns desses materiais abarcarem problemas relativos à emissão de gases de efeito estufa em suas respectivas produções, muitas vezes, dependendo do contexto, são a única alternativa plausível desde um ponto de vista de custo-benefício, assim como de técnica ou de mão-de-obra disponíveis. Assim, sendo, neste ponto, emerge um fator crucial para a escolha das estratégias e das tecnologias envolvidas: a viabilidade contextual social, cultural, econômica, financeira, técnica e de recursos humanos. Apesar de todo o aparato tecnológico que se tem mencionado, essa tomada de decisão, em particular, só pode ser avaliada por planejadores e gestores humanos, ainda que a inteligência artificial e outros softwares possam fornecer insumos dinâmicos e atualizados.

Nesse contexto, a Inteligência artificial pode oferecer avanços notáveis por meio de técnicas de aprendizado de máquina e análise preditiva, permitindo avaliações antecipadas e eficazes sobre o desempenho desses materiais sob múltiplas condições climáticas (Bernstein, 2022; Leach, 2022). Redes Neurais Convolucionais podem ser aplicadas na análise microscópica da estrutura dos materiais, identificando falhas e otimizando composições de ligas e polímeros. Redes Neurais Recorrentes (RNNs) e LSTM (*Long Short-Term Memory*) modelariam o comportamento de materiais sob diferentes condições de estresse e envelhecimento, prevendo desempenho a longo prazo. Redes Generativas Adversariais (GANs - *Generative Adversarial Networks*) auxiliariam com a emergência de ideias para novos materiais simulados com propriedades específicas, acelerando o desenvolvimento de composições otimizadas, além da criação de protótipos digitais para testes computacionais e físicos (prototipagem rápida) antes da fabricação.

A integração com ferramentas computacionais, como Ansys Mechanical, Abaqus e Autodesk Inventor, destaca-se pela capacidade de realizar simulações detalhadas e previsões confiáveis sobre o comportamento estrutural dos materiais selecionados.

Tais tecnologias possibilitam, ainda, uma significativa redução da complexidade analítica associada às avaliações estruturais por meio da técnica dos elementos finitos, assim como, ao identificar e selecionar automaticamente apenas as variáveis físicas mais críticas e determinantes para o desempenho final. Dessa forma, testes virtuais se tornam substancialmente mais rápidos, precisos e economicamente viáveis, simplificando análises complexas sem comprometer a integridade ou a qualidade das soluções estruturais propostas.

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) têm se apresentado como alternativa promissora no enfrentamento dos impactos negativos decorrentes das ondas de calor e inundações em contextos urbanos (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). Por meio da implantação estratégica de vegetação, áreas verdes e superfícies aquáticas nas cidades, torna-se possível assegurar simultaneamente proteção térmica eficiente e uma gestão hídrica mais eficaz, contribuindo diretamente para a resiliência socioambiental dos centros urbanos.

As tecnologias baseadas em inteligência artificial voltadas à análise espacial e ambiental desempenhariam um papel decisivo ao potencializar o planejamento e a implementação dessas intervenções. Em particular, técnicas de geoprocessamento, lastreadas em Redes Neurais Convolucionais, associadas a algoritmos avançados de aprendizado de máquina possibilitariam uma classificação automática e precisa das áreas prioritárias para intervenção, tomando por base padrões espaciais e ambientais específicos (Bernstein, 2022; Leach, 2022). Softwares especializados como ArcGIS Pro, Nature4Cities e CityEngine exemplificam ferramentas tecnológicas capazes de concretizar tais estratégias com elevado grau de precisão.

Tais tecnologias contribuem decisivamente para reduzir a alta dimensionalidade intrínseca à análise urbana em conjunto com as Soluções Baseadas na Natureza, mediante a aplicação de técnicas avançadas de agrupamento espacial (*clustering*). Desse modo, simplifica-se significativamente o panorama analítico, permitindo aos gestores identificar claramente as regiões mais sensíveis e simular as prioridades estratégicas para atuação, facilitando a tomada de decisões qualificadas e orientadas para a promoção da sustentabilidade urbana.

A arquitetura frangível ou frágil, conhecida também pela expressão inglesa *safe-to-fail*, constitui uma estratégia projetiva relevante diante da ocorrência frequente e intensa de eventos climáticos extremos (Ahern, 2011). Seu princípio fundamental reside na concepção deliberada de edificações capazes de tolerar falhas controladas e danos previstos, de modo a prevenir colapsos catastróficos em contextos climáticos severos. Ademais, tais estruturas adotam frequentemente formas aerodinâmicas ou arredondadas, projetadas especificamente para minimizar os impactos destrutivos de tempestades, enchentes e ventos intensos.

Nesse âmbito, a utilização de Inteligência artificial desempenharia um papel crucial, especialmente por intermédio da aplicação de técnicas avançadas de simulação estrutural e aerodinâmica aliadas ao aprendizado de máquina. Indica-se as mesmas ferramentas concernentes aos materiais resistentes e duráveis, comentadas anteriormente. Ferramentas especializadas como Autodesk CFD, Rhinoceros associado ao Grasshopper (com destaque para o componente Kangaroo Physics) e Ansys Fluent exemplificam softwares capazes de modelar, prever e avaliar cenários extremos com alto grau de acurácia.

Essas tecnologias contribuem, também, para a redução da complexidade analítica e

dimensional associada à simulação de eventos extremos. Complementarmente, algoritmos de otimização possibilitam que as soluções estruturais sejam selecionadas e priorizadas segundo critérios rigorosos de robustez e desempenho, permitindo aos planejadores e projetistas desenvolverem edificações capazes de absorver impactos controlados, minimizando danos estruturais e otimizando a resiliência do ambiente construído.

O conceito de design flexível emerge como resposta estratégica frente às limitações estruturais das edificações tradicionais, frequentemente caracterizadas por uma rigidez intrínseca, que as torna vulneráveis diante das rápidas transformações climáticas e socioeconômicas contemporâneas (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). Em contraposição a essa rigidez, a adoção de projetos arquitetônicos concebidos com sistemas desmontáveis e reutilizáveis assegura não apenas maior adaptabilidade futura das edificações, como também viabiliza uma gestão eficiente dos recursos materiais, econômicos e ambientais envolvidos.

Nesse sentido, a utilização integrada das tecnologias avançadas de inteligência artificial, especialmente aquelas comentadas anteriormente relativas aos métodos generativos e algoritmos (programação visual), apresenta-se como um instrumento estratégico para a concepção e implementação de projetos modulares adaptativos. Softwares, como Rhino integrado ao Grasshopper, PlanFinder e Autodesk Fusion 360, destacam-se pela capacidade de gerar automaticamente múltiplas soluções modulares adaptáveis, garantindo flexibilidade e otimização dos processos projetuais.

Essas tecnologias são especialmente valiosas por reduzirem eficazmente a complexidade analítica inerente ao projeto modular adaptativo. Por meio da aplicação de algoritmos generativos e técnicas avançadas de seleção, destaca-se exclusivamente as soluções mais robustas e eficientes, reduzindo significativamente a alta dimensionalidade do espaço projetivo ao enfatizar apenas os módulos e componentes mais relevantes para a sustentabilidade e resiliência desejadas. Assim sendo, proporciona-se um cenário de decisões informadas, capazes de atender com eficácia às necessidades urbanas futuras.

As abordagens centradas em tecnologias humanitárias se apresentam como estratégias indispensáveis, assim como integradoras das anteriormente mencionadas, diante das limitações frequentemente encontradas nas soluções técnicas, sobretudo quanto à baixa aceitação social e eficácia reduzida decorrentes do distanciamento entre as propostas e as necessidades reais da comunidade (Edwards, 2004; McDonough 2024; van Lengen, 2021). Estas abordagens buscam estabelecer conexões significativas entre os conhecimentos científicos formais e os saberes tradicionais das comunidades locais, mobilizando os ocupantes em processos ativos de cocriação e tomada de decisões participativas, ademais conscientes do respeito ao meio ambiente.

Nesse cenário, retorna-se às contribuições da Inteligência Artificial Explicável (XAI) e das técnicas avançadas de Processamento de Linguagem Natural (NLP), utilizadas para captar e interpretar adequadamente os anseios, percepções e experiências comunitárias. Softwares especializados como Decidim, Commonplace e CitizenLab exemplificam plataformas tecnológicas capazes de promover, em bases dialógicas e colaborativas, uma participação ampla e ativa da população nos processos de planejamento e gestão urbana.

Essas tecnologias desempenhariam um papel decisivo na redução da alta dimensionalidade frequentemente observada em dados qualitativos complexos, ao realizar a síntese das informações qualitativas advindas das comunidades. Técnicas avançadas como a

clusterização semântica permitem uma consolidação eficiente e precisa das opiniões e percepções coletadas, oferecendo uma visão sintética, porém aprofundada, das expectativas e demandas comunitárias. Desta forma, viabiliza-se uma gestão urbana mais responsável e legitimada socialmente, potencializando significativamente o sucesso das soluções implementadas no ambiente construído.

Em suma, as estratégias de planejamento urbano contemporâneo, quando integradas às tecnologias baseadas em inteligência artificial e softwares especializados, tendem a apresentar um conjunto relevante para auxiliar nas tomadas de decisões, também relativas à gestão ambiental.

Entretanto, além das limitações inerentes a todos os sistemas (Bernstein, 2022; Leach, 2022), conforme comentado anteriormente – cujas integrações tecnológicas sugeridas podem reduzir os impactos negativos –, identificam-se outras questões. Existem limitações técnicas, como: a dependência expressiva da qualidade e disponibilidade dos dados empregados (Coeckelbergh, 2023). Modelos preditivos, técnicas generativas e ferramentas de otimização dependem diretamente da precisão e da abrangência das bases de dados utilizadas, o que implica riscos associados à insuficiência ou parcialidade dos dados coletados, especialmente em contextos urbanos complexos ou pouco estruturados.

Visualiza-se que outra limitação reside na elevada exigência de capacidade computacional e técnica para o emprego pleno dessas ferramentas. Embora poderosas, tais tecnologias muitas vezes requerem infraestrutura digital avançada e habilidades técnicas especializadas, potencialmente limitando a sua adoção ampla, especialmente em contextos urbanos menos desenvolvidos ou com limitações institucionais e financeiras significativas.

Prosseguindo pelo ponto de vista das implicações técnicas, deve-se considerar a alta demanda por energia elétrica, o que se revela como um contrassenso diante do escopo ambiental (Coeckelbergh, 2023). Entretanto, como uma maneira de mitigar essa condição, o calor gerado por *data centers* já é utilizado para aquecer residências na Europa, o que configura uma transferência de demanda (Jurgens *et al.*, 2024).

Outra questão reside na possibilidade de ocorrência de vieses éticos algorítmicos nas tomadas de decisão automatizadas. Especialmente nas abordagens centradas no ser humano e nas metodologias generativas, pode-se incorrer na reprodução de preconceitos ou preferências implícitas presentes nos dados históricos utilizados, demandando cuidadosa supervisão e revisões constantes (Coeckelbergh, 2023).

Adicionalmente, observa-se que a simplificação das variáveis por meio da redução da alta dimensionalidade, embora necessária, pode implicar inadvertidamente a exclusão ou negligência de fatores aparentemente secundários, mas cuja influência pode revelar-se significativa em longo prazo. A utilização rigorosa da análise dimensional, portanto, deve ser cuidadosamente equilibrada, garantindo que não sejam ignoradas variáveis essenciais à resiliência urbana e sustentabilidade socioambiental e cultural.

Ressalta-se que a integração tecnológica requer necessariamente capacitação contínua dos planejadores e gestores urbanos, gerando uma demanda por investimentos sistemáticos em formação técnica especializada. Essas condições podem representar desafios financeiros e organizacionais para muitas cidades, sobretudo aquelas com recursos institucionais mais limitados.

Procurando formalizar um caráter sintético para a proposta metodológica e para as recomendações técnicas/operacionais – desde um ponto de vista benéfico do emprego

tecnológico –, capaz de auxiliar planejadores e gestores ambientais urbanos, sugere-se, primeiramente, investir em infraestrutura tecnológica especializada e em recursos humanos. Esse passo abarca garantir algum acesso a softwares avançados e inteligência artificial, assim como capacitar colaboradores por meio da aquisição de conhecimentos técnicos. Não em uma sequência linear, mas conjuntamente pensando em uma rede, indica-se empreender o levantamento dos dados, com atenção às qualidades das matrizes. Continuando, indica-se a implementação prática das ferramentas tecnológicas previamente selecionadas. Nessa etapa, empregam-se modelos preditivos avançados e técnicas generativas para a elaboração e análise detalhada de cenários urbanos futuros. Essas simulações permitem compreender, por meio de padrões, os impactos potenciais das mudanças climáticas, testando soluções adaptativas capazes de aumentar a resiliência das cidades frente aos eventos extremos previstos.

Em complemento, adota-se uma abordagem sistemática para a redução da alta dimensionalidade inherente aos fenômenos urbanos complexos. Técnicas de inteligência artificial e presentes em outros softwares, possibilitam identificar e priorizar apenas as variáveis essenciais aos processos decisórios, simplificando significativamente as análises sem prejuízo de sua integridade e rigor técnico.

Procede-se à análise comparativa criteriosa e colaborativa dos resultados obtidos nas simulações, com vistas a interpretar criticamente a eficácia das soluções tecnológicas integradas, bem como identificar claramente as suas limitações. Dessas ações, que são recursivas e iterativas, pois uma etapa ajuda a revisitar e a validar as outras, resultará um conjunto de diretrizes, ou princípios norteadores, interessantes aos gestores urbanos e formuladores de políticas públicas. Facilita-se a implementação prática das tecnologias propostas, contribuindo para um planejamento estratégico mais resiliente e sustentável.

Nesse intermédio, é imperativo priorizar soluções modulares, flexíveis e baseadas na natureza como resposta direta à complexidade e à incerteza climática, fortalecendo a resiliência urbana. Por um modelo de planejamento e de gestão centrado nas tecnologias humanitárias, deve-se garantir ética, transparência e interpretabilidade nas decisões técnicas, favorecendo a aceitação e participação comunitária, pois essas características de tratamento de dados definem os procedimentos sistemáticos e os tipos de ações a serem implementadas.

De maneira geral, capacitar continuamente equipes técnicas e administrativas quanto ao uso e interpretação crítica dessas tecnologias, assegurando decisões bem fundamentadas, deve estar alinhada com as necessidades locais, procurando respeitar também características socioculturais de regiões específicas do país.

Princípios norteadores metodológicos se configuram como elementos fundamentais para impulsionar cidades mais resilientes, sustentáveis e preparadas para lidar eficazmente com os desafios decorrentes das mudanças climáticas contemporâneas e outros componentes complexos. Para complementar a noção de síntese para a proposta metodológica, apresenta-se a Figura 1:

Figura 1 – Síntese da proposta metodológica



Elaborada pelos autores.

5 CONCLUSÃO

Em face do cenário contemporâneo marcado pela complexidade crescente das variáveis urbanas e pela intensificação das mudanças climáticas, o presente artigo buscou refletir criticamente sobre o potencial advindo da integração entre ferramentas especializadas e tecnologias fundamentadas em inteligência artificial para o aprimoramento da resiliência urbana e da gestão ambiental do ambiente construído. Evidenciou-se, ao longo da exposição, que essa integração tecnológica humanitária é capaz de mitigar significativamente os efeitos da alta dimensionalidade analítica inerente aos desafios urbanos atuais, possibilitando decisões mais eficazes, robustas e adaptáveis aos contextos locais.

A metodologia proposta, baseada na combinação de simulações preditivas, técnicas de análise gerativa, redução de dimensionalidade e abordagens centradas no ser humano, abrange um caráter de viabilidade técnica para ampliar a capacidade adaptativa e a sustentabilidade urbana frente a eventos climáticos extremos. Apesar de certos desafios apontados – procurando posicionar uma compreensão equilibrada e crítica acerca dos objetivos –, como resultado adicional, oferece-se uma matriz de soluções, objetivamente estruturada e tecnicamente viável para aplicação imediata em contextos urbanos afetados por tais

fenômenos, permitindo a tomada de decisões informadas e fundamentadas.

Como desdobramento das reflexões apresentadas, vislumbram-se possibilidades de aprofundamento investigativo em múltiplas direções. Inicialmente, destacam-se estudos detalhados sobre os aspectos éticos e sociais decorrentes da implementação das tecnologias aqui analisadas em contextos urbanos, considerando especialmente os impactos sociais resultantes da inserção da inteligência artificial no planejamento e gestão das cidades. Prosseguindo, recomenda-se que pesquisas futuras realizem análises longitudinais abrangentes, dedicadas a avaliar os impactos econômicos e ambientais de longo prazo advindos das soluções tecnológicas propostas, assegurando um entendimento mais completo e integrado de seus efeitos estruturais.

Adicionalmente, faz-se imprescindível ampliar a aplicação prática dos métodos e tecnologias discutidas para contextos regionais diversificados, incluindo diferentes condições climáticas e socioculturais, buscando, dessa forma, validar ou adaptar as estratégias propostas em uma perspectiva global e pluralizada. Finalmente, sugere-se explorar de maneira mais detalhada o potencial de inclusão social proporcionado por tais tecnologias, especialmente no que se refere à promoção da participação ativa das comunidades locais nos processos de planejamento urbano apoiados por Inteligência artificial, fortalecendo sua legitimidade social e contribuindo para a efetiva democratização da gestão urbana contemporânea.

6 REFERÊNCIAS

AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 4, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.021>. Acesso em: 15 mar. 2025.

AMES, M. G.; MAZZOTTI, M. **Algorithmic modernity**. New York: Oxford University Press, 2023.

AMORIM, A. L. Cidades inteligentes e City Information Modeling. In: SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. Buenos Aires, Argentina, 2016. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/cidades-inteligentes-e-city-information-modeling-24838>. Acesso em: 15 mar. 2025.

ARNOLD, T.; KANE, M.; LEWIS, B. W. **A computacional approach to statistical learning**. New York: CRC Press, 2019.

BAKELMUN, A.; DIA, H.; GLACKIN, S.; HARGROVES, K.; LIESKE, S. N.; NEWMAN, P.; PETTIT, C.; SHEARER, H.; THOMSON, G. Planning support systems for smart cities. **City, Culture and Society**, Holand, v. 12, 2018. Disponível em: <https://sbenrc.com.au/wp-content/uploads/2017/12/Pettit-Bakelmun-Lieske-Glackin-Hargroves-Thomson-Shearer-Dia-Newman-2017.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

BELKINA, A. C.; CICCOLELLA, C. O.; ANNO, R.; HALPERT, R.; SPIDLEN, J.; SNYDER-CAPPIONE, J. E. Automated optimized parameters for T-distributed stochastic neighbor embedding improve visualization and analysis of large datasets. **Nature Communications**, n. 10, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-13055-y.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

BERNARD, S.; MOONEY, A. Metade das maiores cidades do mundo estão ficando mais chuvosas, diz pesquisa. **Folha de S. Paulo**, 15 mar. 2025. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2025/03/metade-das-maiores-cidades-do-mundo-estao-ficando-mais-chuvosas-diz-pesquisa.shtml>. Acesso em: 16 mar. 2025.

BERNSTEIN, P. **Machine Learning**: architecture in the age of artificial intelligence. London: RIBA Publishing, 2022.

BIERNATH, A. Por que chuvas em São Paulo têm provocado tantos estragos? **Folha de S. Paulo**, 13 mar. 2025. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2025/03/por-que-chuvas-em-sao-paulo-tem-provocado-tantos-estragos.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2025.

BODT, C.; MULDERS, D.; VERLEYSEN, M.; LEE, J. A. Perplexity-free t-SNE and twice Student tt-SNE. **ESANN 2018 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning**, Bruges (Belgium), 2018. Disponível em: <https://www.esann.org/sites/default/files/proceedings/legacy/es2018-185.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

CAMPO, M. del. **Neural architecture: design and artificial intelligence**. Novato, CA: ORO Editions, 2022.

CASTELANI, C. Adaptação a eventos extremos é prioridade de força-tarefa do G20 para o clima. **Folha de S. Paulo**, 9 mai. 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2024/05/adaptacao-a-eventos-extremos-e-prioridade-de-forca-tarefa-do-g20-para-o-clima.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2025.

CHAILLOU, S. **Artificial Intelligence and architecture: from research to practice**. Basel: Birkhauser, 2022.

COECKELBERGH, M. **Ética na inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Ubu Editora, 2023.

CORNWELL, A. What caused Dubai floods? Experts cite climate change, not cloud seeding. **Reuters – Climate & Energy**, 2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/middle-east/what-caused-storm-that-brought-dubai-standstill-2024-04-17/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

DATOLA, G. Implementing urban resilience in urban planning: A comprehensive framework for urban resilience evaluation. **Sustainable Cities and Society**, v. 98, n. 104821, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104821>. Acesso em: 15 mar. 2025.

EDWARDS, B. **Guía básica de la sostenibilidad**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2004.

ERDENESANAA, D. Aumento na temperatura dos oceanos coloca em risco toda a cadeia alimentar marinha. **Folha de S. Paulo**, 10 mar. 2025. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2025/03/aumento-na-temperatura-dos-oceanos-coloca-em-risco-toda-a-cadeia-alimentar-marinha.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2025.

JACOB, M. Climate misinformation overshadows record floods worldwide. **The Anniston Star**, 11 jun. 2024. Disponível em: https://www.annistonstar.com/news/nation_world/climate-misinformation-overshadows-record-floods-worldwide/article_6ea6d12f-5a29-548d-9b65-ddabad075a1b.html. Acesso em: 15 mar. 2025.

JURGENS, B.; ZIPPLIES, J.; SAUER, C.; KUSYY, O.; OROZALIEV, J.; JORDAN, ULRIKE.; VAJEN, K. Covering District Heating Demand with Waste Heat from Data Centres. **International Journal of Sustainable Energy Planning and Management**, v. 41, 2024. Disponível em: <https://journals.aau.dk/index.php/sepm/article/view/8149>. Acesso em: 15 mar. 2025.

KOSOWATZ, J. Top 10 smart cities in the world. **The American Society of Mechanical Engineers**, 2020. Disponível em: <https://www.asme.org/topics-resources/content/top-10-growing-smart-cities>. Acesso em: 15 mar. 2025.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2019.

LEACH, N. **Architecture in the age of Artificial Intelligence**: an introduction to AI for architects. New York: Bloomsbury, 2022.

MAES, J. Entenda a relação das mudanças climáticas com o desastre no RS. **Folha de S. Paulo**, 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2024/05/entenda-a-relacao-das-mudancas-climaticas-com-o-desastre-no-rs.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MARTÍNEZ-PELÁEZ, R.; OCHOA-BRUST, A.; RIVERA, S.; FÉLIX, V. G.; OSTOS, R.; BRITO, H.; FÉLIX, R. A.; MENA, L. J. Role of Digital Transformation for Achieving Sustainability: Mediated Role of Stakeholders, Key Capabilities, and Technology. **Sustainability**, v. 15, n. 14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151411221>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MCDONOUGH, W. William McDonough Delivers Keynote to Aspiring Climate Leaders at the Climatebase Fellowship. **Circular Carbon Economy, Business + Innovation, Circular Economy**, 2024. Disponível em: <https://mcdonough.com/william-mcdonough-delivers-keynote-to-aspiring-climate-leaders-at-the-climatebase-fellowship/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Meridional / Sulina, 2005.

OLIVEIRA, G. Famílias da primeira região árida do Brasil sofrem com seca agravada por mudança climática. **Folha de S. Paulo**, 2 nov. 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2024/11/familias-da-primeira-regiao-arida-do-brasil-sofrem-com-seca-agravada-por-mudanca-climatica.shtml>. Acesso em: 16 mar. 2025.

PREFEITURA DE SÃO SEBASTIÃO. São Sebastião propõe ampliar discussões sobre 'Cidades Inteligentes e Sustentáveis'. **Prefeitura de São Sebastião**, 18 out. 2023. Disponível em: [https://www.saosebastiao.sp.gov.br/noticia.asp?ID=N18102023171940#:~:text=E%2C%20nesse%20sentido%2C%20Onessa%20nova%20abordagem%2C%20ter%C3%ADamos,pele%20Instituto%20Smart%20City%20Business%20America%20\(SCBA\)](https://www.saosebastiao.sp.gov.br/noticia.asp?ID=N18102023171940#:~:text=E%2C%20nesse%20sentido%2C%20Onessa%20nova%20abordagem%2C%20ter%C3%ADamos,pele%20Instituto%20Smart%20City%20Business%20America%20(SCBA)). Acesso em: 15 mar. 2025.

RIBEIRO, P. J. G.; GONÇALVES, L. A. P. J. Urban resilience: a conceptual framework. **Sustainable Cities and Society**, v. 50, 101625, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101625>. Acesso em: 15 mar. 2025.

UNITED NATIONS. **Transforming our world**: the 2030 Agenda for sustainable development. A/RES/70/1, 2015.

Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2025.

VAN LENGEN, Johan. **Manual do Arquiteto Descalço-2**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2021.

ZENIL, H.; KIANI, N. A.; ABRAHÃO, F. S.; TEGNÉR, J. N. Algorithmic Information Dynamics. **Scholarpedia**, v. 15, n. 7, 53143, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.53143>. Acesso em: 15 mar 2025.

DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Carlos Quedas Campoy: concepção e design do estudo; curadoria de dados; análise formal; aquisição de financiamento; metodologia; redação – revisão crítica; revisão e edição final; supervisão.

Amanda Maria Rabelo Souza e Cleide Izidoro: investigação; redação – rascunho inicial.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, **Carlos Quedas Campoy, Amanda Maria Rabelo Souza e Cleide Izidoro**, declaramos que o manuscrito intitulado "**Inteligência artificial e softwares especializados: integrando estratégias para o planejamento resiliente e gestão ambiental urbana**":

1. **Vínculos Financeiros**: Não possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Este trabalho foi financiado pelo Instituto Ânima, pela concessão de bolsa de pesquisa.
2. **Relações Profissionais**: Não possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
3. **Conflitos Pessoais**: Não possui conflitos de interesses pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.