



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE SISTEMAS PARA INTERNET
SISTEMA PARA INTERNET**

JOSÉ RAFAEL MATIAS DE SOUZA

**INTEGRAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA TRANSFORMAÇÃO
URBANA: OTIMIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURA E SERVIÇOS PÚBLICOS EM
CIDADES INTELIGENTES**

SALGUEIRO

2025

S719 Souza, José Rafael Matias de.

Integração de Inteligência Artificial na Transformação Urbana: Otimização de Infraestrutura e Serviços Públicos em Cidades Inteligentes / José Rafael Matias de Souza. - Salgueiro, 2025.

45 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Sistemas para Internet) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, 2025.

Orientação: Prof. Esp. Francisco Junio da Silva Fernandes.

1. Inteligência artificial. 2. Cidades inteligentes. 3. Internet das Coisas. 4. Machine learning.
5. Deep learning.

CDD 006.3

JOSÉ RAFAEL MATIAS DE SOUZA

INTEGRAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA TRANSFORMAÇÃO URBANA:
OTIMIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURA E SERVIÇOS PÚBLICOS EM CIDADES
INTELIGENTES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do curso
de Sistemas para Internet do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Sertão Pernambucano,
campus Salgueiro, como requisito
parcial à obtenção do título de
Tecnólogo em Sistemas para Internet.

Aprovado em: 25/09/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Francisco Junio da Silva Fernandes **Orientador(a)**
IF Sertão PE – Campus Salgueiro

Prof. Francisco Kelsen De Oliveira IF
Sertão PE – Campus Salgueiro

Prof. Orlando Silva De Oliveira IF Sertão PE –
Campus Salgueiro

SALGUEIRO 2025

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, saúde e sabedoria concedidas durante toda esta caminhada acadêmica, permitindo que eu chegasse até aqui e concluísse mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, José Roberto e Rozilda Matias, pelo amor, dedicação e exemplo de trabalho e honestidade. Cada conquista alcançada é reflexo dos valores que me ensinaram e do apoio incondicional que sempre me ofereceram.

À minha esposa, Camily Vitória, pela paciência, incentivo e companheirismo em todos os momentos. Sua presença constante e seu apoio foram fundamentais para que eu mantivesse o foco e a determinação necessários para alcançar este objetivo.

Ao meu filho, Vicente Cruz, razão da minha maior motivação e inspiração diária. Que este trabalho sirva como exemplo de que o esforço e a perseverança sempre trazem frutos.

Ao meu orientador, professor Francisco Junio da Silva Fernandes, pela orientação técnica, paciência e dedicação ao longo de todo o processo de pesquisa e escrita. Sua experiência e comprometimento foram essenciais para o desenvolvimento e finalização deste projeto.

Ao professor Leonardo Corsino Campello, pela orientação e apoio nas etapas iniciais deste trabalho, contribuindo de forma significativa para a sua construção e amadurecimento.

Por fim, agradeço a todos os colegas, amigos e demais professores que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, seja com palavras de incentivo, ensinamentos ou gestos de apoio.

INTEGRAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA TRANSFORMAÇÃO URBANA: OTIMIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURA E SERVIÇOS PÚBLICOS EM CIDADES INTELIGENTES

José Rafael M. Souza¹, Francisco Junio Da Silva
Fernandes²

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano BR
232, Km 504, sentido Recife, Zona Rural, 56000-000 – Salgueiro/ PE – Brasil

jose.rafael@aluno.ifsertao-pe.edu.br¹,

francisco.fernandes@ifsertao-pe.edu.br²

Abstract. *The accelerated growth of urban centers has produced challenges such as mobility, public safety, energy consumption, and waste management, for which traditional public-management models no longer offer effective responses. In this context, smart cities emerge by integrating people, technology, and governance to promote efficiency and sustainability. The objective of this study was to analyze the role of Artificial Intelligence (AI) in urban transformation, examining how Machine Learning and Deep Learning techniques can optimize infrastructure and improve public services. The research adopts a qualitative, exploratory, and descriptive approach, grounded in a bibliographic review and the analysis of five case studies: Curitiba, Santander, Barcelona, Mangaluru, and Aveiro. The results indicate that the use of real-time data, digital inclusion, energy sustainability, and public-private partnerships are critical success factors, while high costs, limited interoperability, and data-privacy risks persist as barriers. It is concluded that smart cities should be understood not merely as technologically advanced environments, but as ecosystems oriented toward quality of life, in which technology functions as a means to support fairer and more efficient public decision-making.*

Resumo. *O crescimento acelerado dos centros urbanos gera desafios como mobilidade, segurança, energia e resíduos, para os quais modelos tradicionais de gestão pública já não oferecem respostas eficazes. Nesse contexto, surgem as cidades inteligentes, que integram pessoas, tecnologia e governança para promover eficiência e sustentabilidade. O objetivo deste trabalho foi analisar o papel da Inteligência Artificial (IA) na transformação urbana, investigando como técnicas de Machine Learning e Deep Learning podem otimizar infraestrutura e aprimorar serviços públicos. A pesquisa adota abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e análise de estudos de caso em cinco cidades: Curitiba, Santander, Barcelona, Mangaluru e Aveiro. Os resultados mostram que o uso de dados em tempo real, a inclusão digital, a sustentabilidade energética e as parcerias público-privadas são fatores críticos de sucesso, enquanto altos custos, falta de interoperabilidade e riscos à privacidade permanecem como barreiras. Conclui-se que as cidades inteligentes devem ser entendidas não apenas como ambientes tecnológicos, mas como ecossistemas voltados à qualidade de vida, onde a tecnologia é um meio para decisões mais justas e eficientes.*

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

CNN	Convolutional Neural Network (Rede Neural Convolucional)
DL	Deep Learning (Aprendizado Profundo)IA – Inteligência Artificial
ML	Machine Learning (Aprendizado de Máquina)
ICMS	Intelligent City Management System (Sistema Inteligente de Gestão Urbana)
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das Coisas
PLN	Processamento de Linguagem Natural
ITS	Intelligent Transportation Systems (Sistemas de Transporte Inteligentes)
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
NLP	Natural Language Processing (Processamento de Linguagem Natural)
PPP	Parceria Público-Privada
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura das iniciativas de cidades inteligentes	11
Figura 2. Dimensões principais de uma cidade inteligente e seus componentes constituintes	13
Figura 3. Processo geral de machine learning	14
Figura 4. Domínios de aplicação de machine learning em cidades inteligentes.	15
Figura 5. Duas camadas convolucionais seguidas de função de ativação (ex.: ReLU), mostrando a extração hierárquica de características em CNNs.....	17
Figura 6. Duas camadas convolucionais seguidas de ativação, ilustrando a extração hierárquica de características em visão para mobilidade urbana.....	18
Figura 7. Áreas de avanços em PLN.	19
Figura 8. Arquitetura da Internet das Coisas (IoT).....	20
Figura 9. Funcionamento dos Sistemas de Transporte Inteligentes	22
Figura 10. Aplicativo Saúde Já Curitiba em uso.	29
Figura 11. Ponto de acesso do Wi-Fi Curitiba em terminal de transporte.	29
Figura 12. Rede de Sensores aplicada à gestão urbana em Santander	31
Figura 13. Gerenciamento na coleta de resíduos em Barcelona, com o uso de sensores	32
Figura 14. Interface do MobilitApp para análise de padrões de mobilidade em Barcelona.....	33
Figura 15. QR Code na cidade de Mangaluru	34
Figura 16. Indicador de risco viário em Aveiro.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparativo dos estudos de caso em cidades inteligentes.....	36
--	----

SUMÁRIO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO	1
JOSÉ RAFAEL MATIAS DE SOUZA	1
SALGUEIRO 2025	1
José Rafael M. Souza ¹ , Francisco Junio Da Silva Fernandes ²	5
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS	8
SUMÁRIO	9
1. Introdução	10
2. Fundamentação Teórica	12
2.1. Cidades Inteligentes: Conceitos e Dimensões	12
2.2. Inteligência Artificial: Conceitos e principais técnicas	13
2.3. Infraestrutura Urbana e Serviços públicos	20
2.4. O papel da Inteligência Artificial nas Cidades Inteligentes	21
2.5. Desafios e Oportunidades na Implementação de Cidades Inteligentes	22
3. Metodologia	24
3.1. Tipo de pesquisa	25
3.2. Estrutura de pesquisa	26
3.3. Revisão de Literatura	26
3.4. Critérios para a Seleção de Estudos de Caso	27
4. Estudos de Caso em Cidades Inteligentes	28
4.1. Curitiba: Inovação, Sustentabilidade e Governança Digital	28
4.2. Santander (Espanha): Monitoramento Urbano com IoT	30
4.3. Barcelona (Espanha): Mobilidade e Gestão de Resíduos Inteligentes	31
4.4. Mangalaru (Índia): Gestão de Resíduos com QR Codes	33
4.5. Aveiro (Portugal): IoT e IA aplicadas à Gestão Viária	34
5. Análise e Discussão dos Resultados	35
5.1. Quadro Comparativo dos Casos	36
5.2. Padrões de Sucesso Identificados	36
5.3. Barreiras e Desafios Comuns	37
5.4. Discussão: Implicações para a Governança Urbana	38
6. Considerações Finais	39
6.1. Trabalhos Futuros	39
6.2. Limitações do Estudo	40
7. Referências	41

1. INTRODUÇÃO

A grande urbanização e o aumento da população nas áreas urbanas trazem desafios significativos para a gestão das cidades. Há uma crescente necessidade de novas respostas e técnicas para lidar com problemas de infraestrutura, mobilidade urbana, segurança pública, uso de energia e sustentabilidade ambiental. Nesse cenário, a ideia de cidades inteligentes surge como uma alternativa eficaz para enfrentar esses desafios, utilizando Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e Inteligência Artificial (IA) a fim de promover um crescimento urbano mais eficiente e sustentável.

De acordo com Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2011), uma cidade inteligente se destaca por investir em pessoas e na sociedade, além de em estruturas de comunicação, tanto tradicionais quanto novas, com o objetivo de promover um crescimento econômico sustentável e uma boa qualidade de vida, por meio de uma gestão inteligente dos recursos naturais e da participação coletiva.

Os avançados sistemas de monitoramento urbano de hoje tornam possível para as cidades gerenciar aspectos como fluxos de tráfego e segurança pública sem parar. Como discutido por Hancke, Silva e Hancke Jr. (2013), a aplicação de sistemas com sensores urbanos de ponta, possibilita o monitoramento contínuo de fatores como tráfego, consumo de energia e segurança pública, promovendo cidades mais responsivas, eficientes e seguras.

A IA, nesse sentido, serve como força motriz essencial por trás de um ambiente urbano mais adaptável e eficiente. Para a construção de cidades inteligentes, a sustentabilidade é o ponto-chave. Como Berardi (2013) destaca, esses centros urbanos precisam incorporar medidas de proteção ambiental em todos os aspectos. Nos últimos anos, práticas sustentáveis para o desenvolvimento de cidades inteligentes têm sido amplamente discutidas e promovidas. Os principais problemas apresentados pelas iniciativas exigem um ajuste necessário para criar áreas densamente povoadas que sejam verdadeiramente sustentáveis.

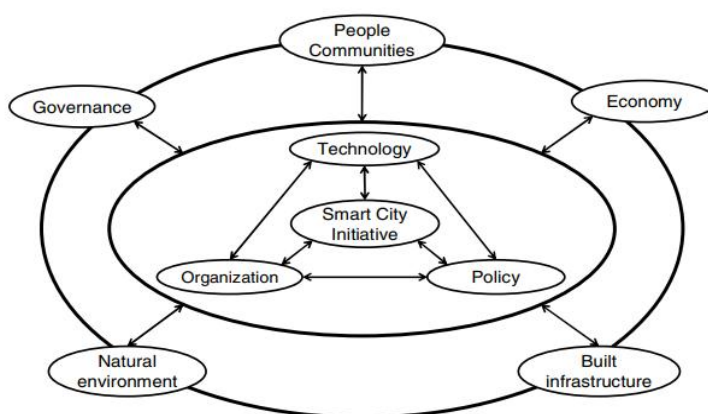
Consequentemente, a aplicação de tecnologias de IA à gestão urbana traz desafios éticos e sociais. No Brasil, a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/2018) (Brasil, 2018) estabelece princípios como finalidade, necessidade, transparência e segurança, que devem nortear a coleta, o uso e o compartilhamento de informações pessoais. Assim, qualquer política voltada à segurança pública e à gestão inteligente precisa estar alinhada a esses requisitos para garantir a privacidade dos cidadãos e evitar violações de direitos.

Como Alawadhi et al. (2012) apontam, é fundamental que a governança permita a plena participação de todas as partes interessadas na tomada de decisões, trazendo um senso de colaboração e transparência às gestões urbanas. Essa ideia pode ser visualizada na Figura 1, que

apresenta um modelo de iniciativas de cidades inteligentes. O esquema evidencia diferentes dimensões, como infraestrutura tecnológica, gestão pública, participação cidadã e sustentabilidade, que se articulam para formar um ecossistema urbano inteligente.

Mais do que uma representação gráfica, a figura expressa a natureza integrada das cidades inteligentes, nas quais a eficiência tecnológica só é alcançada quando há equilíbrio entre inovação, gestão e engajamento social. A interação entre instituições, empresas e cidadãos é o que transforma a tecnologia em ferramenta de desenvolvimento coletivo, não apenas em um instrumento técnico. Assim, a imagem traduz visualmente o princípio central deste trabalho, a ideia de que a inteligência artificial deve ser compreendida como meio de fortalecimento da governança e da participação cidadã, e não apenas como uma solução tecnológica.

Figura 1. Estrutura das iniciativas de cidades inteligentes



Fonte: Alawadhi et al. (2012)

Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo geral analisar o papel da Inteligência Artificial na otimização da infraestrutura urbana e na melhoria dos serviços públicos em cidades inteligentes. Para tanto, o estudo examina experiências nacionais e internacionais, utilizando casos de sucesso como referência para compreender de que forma a IA pode contribuir para a modelagem das cidades do futuro.

De forma complementar, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) compreender os conceitos e características que definem uma cidade inteligente; (ii) identificar aplicações de Machine Learning e Deep Learning em setores urbanos como mobilidade, energia, segurança e meio ambiente; (iii) examinar experiências nacionais e internacionais a partir de estudos de caso; (iv) discutir os desafios éticos, sociais e de governança associados ao uso da IA em cidades inteligentes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Cidades Inteligentes: Conceitos e Dimensões

O conceito de cidades inteligentes, também conhecida como smart city começou a ser bastante utilizado nas últimas décadas, isso como resultado proveniente do grande volume de novas tecnologias na governança urbana. Nas últimas décadas, o termo smart city ganhou muita projeção. Segundo Albino, Berardi e Dangelico (2015), não há definição única, mas as descrições convergem para o uso de TIC com capital humano e social, visando crescimento sustentável e qualidade de vida.

Uma cidade baseada em soluções inteligentes é determinada como a convergência de três grandes extensões, como tecnologia, pessoas e instituições (Nam & Pardo, 2011). Deste modo, destaca-se que além dos investimentos tecnológicos, o capital humano e a participação do órgão governamental são essenciais para que seja possível o sucesso nas cidades inteligentes.

Deakin e Al Waer (2011) realçam que a caracterização de cidade inteligente rodeia a aplicação de uma ampla gama de tecnologias digitais para melhorar a eficiência dos serviços urbanos, promovendo cada vez mais a sustentabilidade e aumentar a participação cidadã. Os autores apontam que as Tecnologias da informação e Comunicação devem ser efetivadas por atos que incentivem cada vez mais a inovação e a inclusão social de todos os habitantes.

Em resumo, esse conceito se refere a cidades que utilizam tecnologias avançadas para melhorar o sistema urbano, aumentando e estimulando o crescimento econômico e impulsionando um meio mais sustentável para todos, garantindo também a inclusão social e aumentando a qualidade de vida dos seus habitantes. A execução bem-sucedida do uso de tecnologias na urbanização requer uma abordagem ampla que considere não apenas a tecnologia, mas também os aspectos sociais, econômicos e institucionais do ambiente urbano.

Como ilustrado na Figura 2, as cidades inteligentes são compostas por dimensões que abrangem o ambiente físico, a sociedade e o governo, articuladas pelo uso de dados e tecnologias. Esse modelo dialoga com os conceitos discutidos por Albino, Berardi e Dangelico (2015), Nam e Pardo (2011) e Deakin e Al Waer (2011), que destacam a importância de integrar tecnologia, capital humano e governança para melhorar a eficiência urbana e a qualidade de vida.

Figura 2. Dimensões principais de uma cidade inteligente e seus componentes constituintes



Fonte: Guedes, A. L. A., Soares, C. A. P., Rodriguez, M., & Nunes, V. (2020)

2.2. Inteligência Artificial: Conceitos e principais técnicas

Neste trabalho, entendemos a Inteligência Artificial (IA) como o campo da computação que estuda agentes capazes de perceber o ambiente e agir para alcançar objetivos, tomando decisões sob incerteza (Russell & Norvig, 2021/2022). Em termos práticos, a IA abrange tecnologias que permitem a computadores simular capacidades tipicamente humanas como aprendizado, compreensão, resolução de problemas, tomada de decisão, criatividade e operar com certo grau de autonomia (Stryker & Kavlakoglu, IBM, 2024).

Um dos eixos centrais da IA é o aprendizado de máquina, que investiga como construir sistemas que extraem padrões e fazem classificações a partir de dados tipicamente modelando pares (x, y) e otimizando um critério de desempenho numa interseção entre estatística, otimização e ciência da computação, com ênfase em inferência e decisão sob incerteza (Jordan & Mitchell, 2015).

No contexto de cidades inteligentes, a IA opera como a camada de inteligência sobre a infraestrutura conectada a modelos de aprendizado de máquina ingerem fluxos de dados de sensores, dispositivos IoT e sistemas OT para gerar previsões e decisões operacionais, por exemplo, manutenção preditiva que antecipa falhas e evita downtime. Combinada à automação, a IA viabiliza respostas em tempo real, reduz erros humanos, oferece disponibilidade 24/7 (como com assistentes virtuais) e diminui riscos físicos ao automatizar

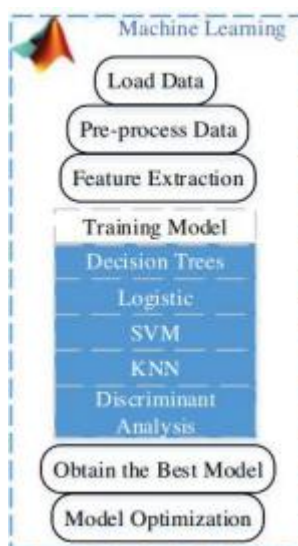
tarefas perigosas, com isso, a gestão urbana obtém insights mais rápidos e completos para decisões baseadas em dados (Stryker & Kavlakoglu, IBM, 2024).

2.2.1. Machine Learning aplicado a Gestão Urbana

Segundo Dou et al. (2023), machine learning (ML) é um conjunto de métodos estatístico-computacionais que aprende funções a partir de dados para prever, classificar e apoiar decisões no gerenciamento urbano. Os autores estruturam as técnicas em três categorias: aprendizado supervisionado (classificação e regressão com dados rotulados), não supervisionado (descoberta de padrões, p.ex., clustering e redução de dimensionalidade) e aprendizado por reforço (decisões sequenciais guiadas por recompensas).

De acordo com o mesmo estudo, projetos de ML seguem um pipeline padronizado (ver **Figura 3**): carga e pré-processamento dos dados, engenharia/seleção de atributos, treinamento com algoritmos como árvores de decisão, regressão logística, SVM, k-NN e análise discriminante, avaliação com métricas (accuracy, precision, recall, F1) e seleção/otimização do melhor modelo, incluindo ensembles (bagging, boosting) e transfer learning quando há necessidade de reaproveitar conhecimento entre tarefas ou cidades.

Figura 3. Processo geral de machine learning



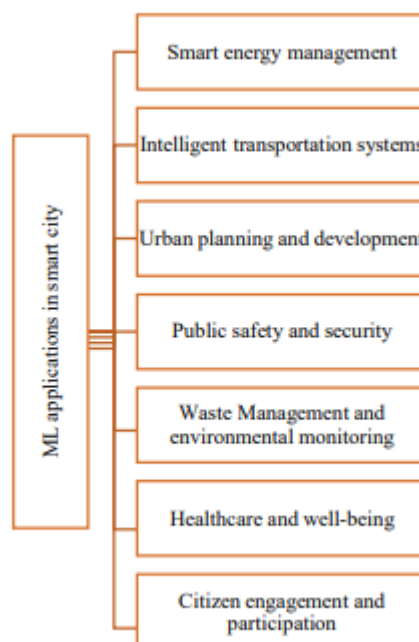
Fonte: Adaptado de Machine Learning for Smart Cities (2023)

Conforme Dou et al. (2023), ao conectar o pipeline de machine learning às fontes da infraestrutura urbana digital, como sensores IoT, plataformas de dados e registros administrativos, é possível obter resultados em diversos domínios, entre eles energia, mobilidade, segurança pública, meio ambiente, saúde e engajamento cidadão. A Figura 4

sintetiza essa relação, evidenciando como o aprendizado de máquina atua como um eixo transversal entre os diferentes setores da gestão urbana.

Mais do que uma simples ilustração, a figura destaca a interdependência entre as áreas, mostrando que a aplicação de ML em uma dimensão, como mobilidade, pode gerar impactos positivos em outras, como energia e meio ambiente. Essa visão sistêmica reforça o argumento central do trabalho, segundo o qual a IA deve ser compreendida não como um conjunto de soluções isoladas, mas como uma arquitetura analítica integrada que conecta dados, processos e decisões em tempo real dentro das cidades inteligentes.

Figura 4. Domínios de aplicação de machine learning em cidades inteligentes.



Fonte: Adaptado de Machine Learning for Smart Cities (2023)

Nas cidades estudadas, observa-se que o uso do machine learning tem se consolidado como uma das principais ferramentas para apoiar a tomada de decisão e otimizar serviços urbanos. Em Barcelona, por exemplo, o aplicativo MobilitApp utiliza dados coletados por sensores de smartphones, como GPS, acelerômetro e giroscópio, para identificar e classificar os modos de transporte utilizados pela população. Essa classificação, baseada em técnicas de aprendizado supervisionado, permite compreender os padrões de deslocamento e congestionamento na cidade. A partir dessas informações, são gerados indicadores de mobilidade que subsidiam o planejamento urbano, permitindo que o poder público antecipe a demanda por transporte e adote estratégias de mitigação de

tráfego e redução de emissões.

Por sua vez, em Curitiba, o aplicativo Saúde Já desponta como um exemplo no uso de dados públicos para aplicação de técnicas preditivas. As informações geradas pelo sistema como agendamentos, ausências e sazonalidade de atendimentos por especialidade formam uma base concreta para o desenvolvimento de modelos de previsão de demanda e priorização de atendimentos. Com isso, é possível reduzir filas, equilibrar a oferta de consultas entre as unidades de saúde e aprimorar o uso dos recursos do Sistema Único de Saúde municipal. Ainda que o aplicativo tenha sido inicialmente concebido como uma ferramenta de acesso, sua estrutura de dados permite avançar para uma gestão preditiva da saúde pública, integrando o machine learning ao planejamento e à eficiência dos serviços.

Um desafio crítico do aprendizado de máquina em cidades inteligentes está nos vieses presentes nos dados de treinamento. Se os conjuntos utilizados refletem desigualdades históricas ou padrões de exclusão (por exemplo, sub-representação de bairros periféricos, erros de medição ou rotulações inconsistentes), os modelos tendem a reproduzir e até amplificar essas distorções. Em termos práticos, isso pode se manifestar em previsões de demanda de transporte que privilegiam áreas centrais, em priorização de manutenção que ignora regiões com menor volume histórico de chamados, ou em alocação de recursos de segurança baseada em registros enviesados. Por isso, além do pipeline técnico (pré-processamento, engenharia de atributos, treinamento e avaliação), é indispensável uma curadoria ativa dos dados, balanceamento de amostras, validação estratificada e auditorias periódicas, com métricas de desempenho por grupo/população. Dessa forma, a eficiência algorítmica vem acompanhada de responsabilidade e equidade no uso de ML em serviços urbanos.

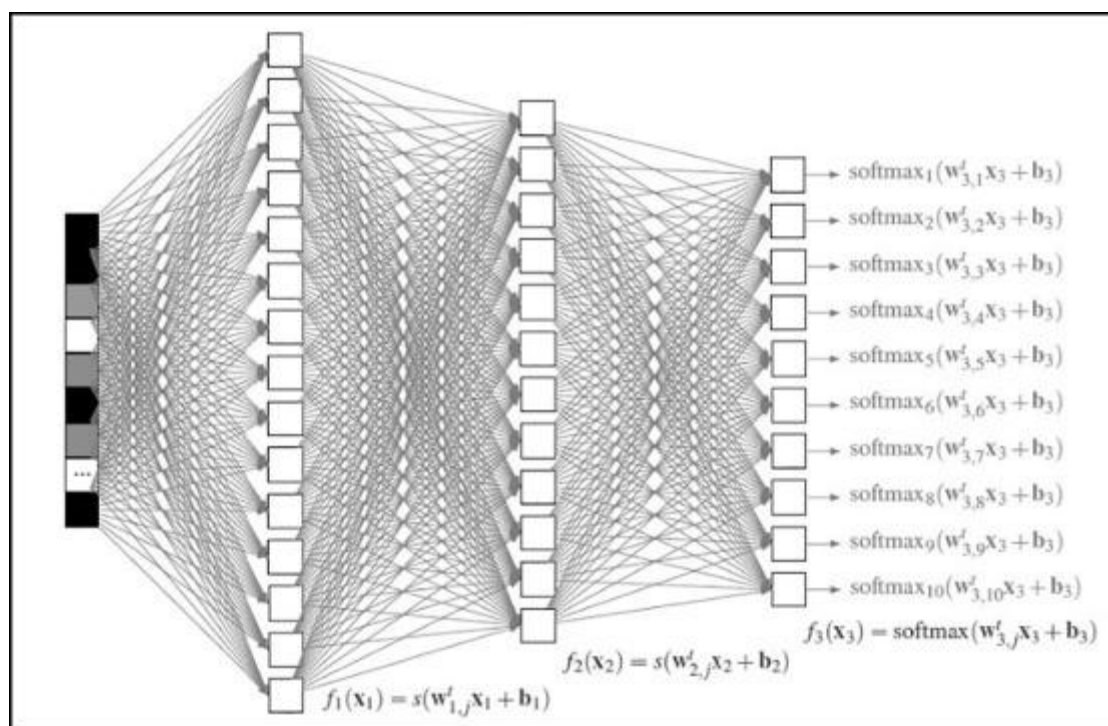
2.2.2. Deep Learning como Motor Analítico de Cidades Inteligentes

Segundo Bezerra (2016), deep learning consiste em treinar redes neurais com várias camadas capazes de aprender características de forma hierárquica, combinando padrões simples nas camadas iniciais em representações mais abstratas nas camadas superiores. A ideia é que a profundidade facilite a representação eficiente de problemas complexos, mesmo que redes “rasas” sejam aproximadoras universais, a diferença está na escala e eficiência do aprendizado quando há dados e computação adequados.

O salto recente do deep learning tem raízes bem práticas, grandes bases de dados e maior poder computacional tornaram viável treinar arquiteturas profundas com desempenho de estado da arte via aprendizado de máquina. Ponti e Costa (2017) mostram

que a passagem de redes “rasas” para “profundas” se apoia na composição sucessiva de camadas não lineares, que aprendem representações cada vez mais abstratas, e explicam por que treinar muitas camadas era difícil (gradientes que desaparecem/explodem). Para contornar isso, três rotinas tornaram-se decisivas entre elas está o ReLU, que evita a saturação típica de sigmóides e mantém gradientes úteis; batch normalization, que normaliza as ativações por minibatch, estabilizando a distribuição interna e permitindo taxas de aprendizado maiores e data augmentation, que aumenta artificialmente o conjunto de treino (rotações, recortes, espelhamentos), melhora a generalização. Com esse trio de práticas, somado a dados abundantes e hardware adequado, redes profundas passaram a dominar tarefas de visão, fala e texto, exatamente o percurso didático apresentado pelos autores na figura 5.

Figura 5. Duas camadas convolucionais seguidas de função de ativação (ex.: ReLU), mostrando a extração hierárquica de características em CNNs.



Fonte: Adaptado de Ponti, M. A.; Costa, G. B. P. (2017, Fig. 3.6.)

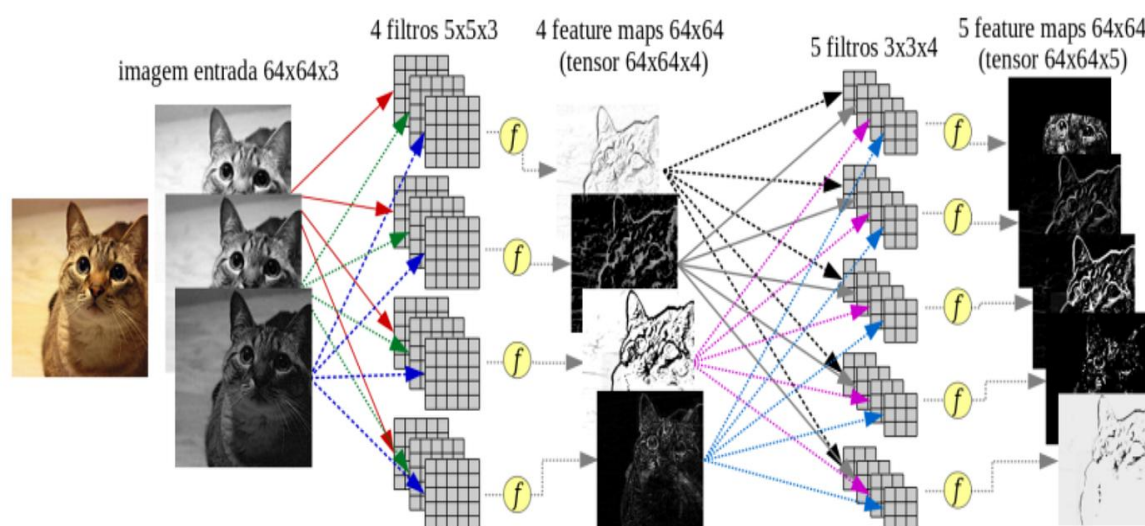
Trazendo essa base para os grandes centros urbanos, conforme Kubota (2025), cidades inteligentes só capturam o valor da IA/DL quando a transformação digital é orientada ao cidadão e sustentada por governança e interoperabilidade de dados. Não basta digitalizar formulários é preciso desativar legados, migrar dados, automatizar processos e ofertar serviços virtualmente, com integração entre plataformas, o que dá fundamento para decisões públicas baseadas em dados (sensores, aplicativos, plataformas de operação). Essa

visão está alinhada à Carta Brasileira de Cidades Inteligentes (objetivos de governança de dados, segurança, privacidade e interoperabilidade).

Experiências internacionais, como a iniciativa Interoperable Europe, reforçam a importância da adoção de padrões abertos para garantir que diferentes plataformas e dispositivos possam se comunicar de forma eficiente. Essa abordagem reduz a divisão tecnológica, evita dependência excessiva de fornecedores e fortalece a escalabilidade dos projetos de cidades inteligentes.

Na prática, o deep learning funciona como motor analítico que conecta os fluxos de IoT/sensoriamento à operação dos serviços urbanos. Em mobilidade, redes convolucionais (CNNs) dão suporte à contagem e classificação de veículos, ao reconhecimento de padrões em cruzamentos e ao apoio ao controle semafórico. Esse encadeamento: entrada, convoluções, ativações, decisão; é exatamente o que se observa na Figura 3.6 de Ponti & Costa (2017), onde as camadas convolucionais extraem mapas de características e as funções de ativação filtram e propagam os sinais relevantes para as camadas seguintes, culminando na predição.

Figura 6. Duas camadas convolucionais seguidas de ativação, ilustrando a extração hierárquica de características em visão para mobilidade urbana.



Fonte: Fonte: Ponti & Costa (2017, Fig. 3.6.)

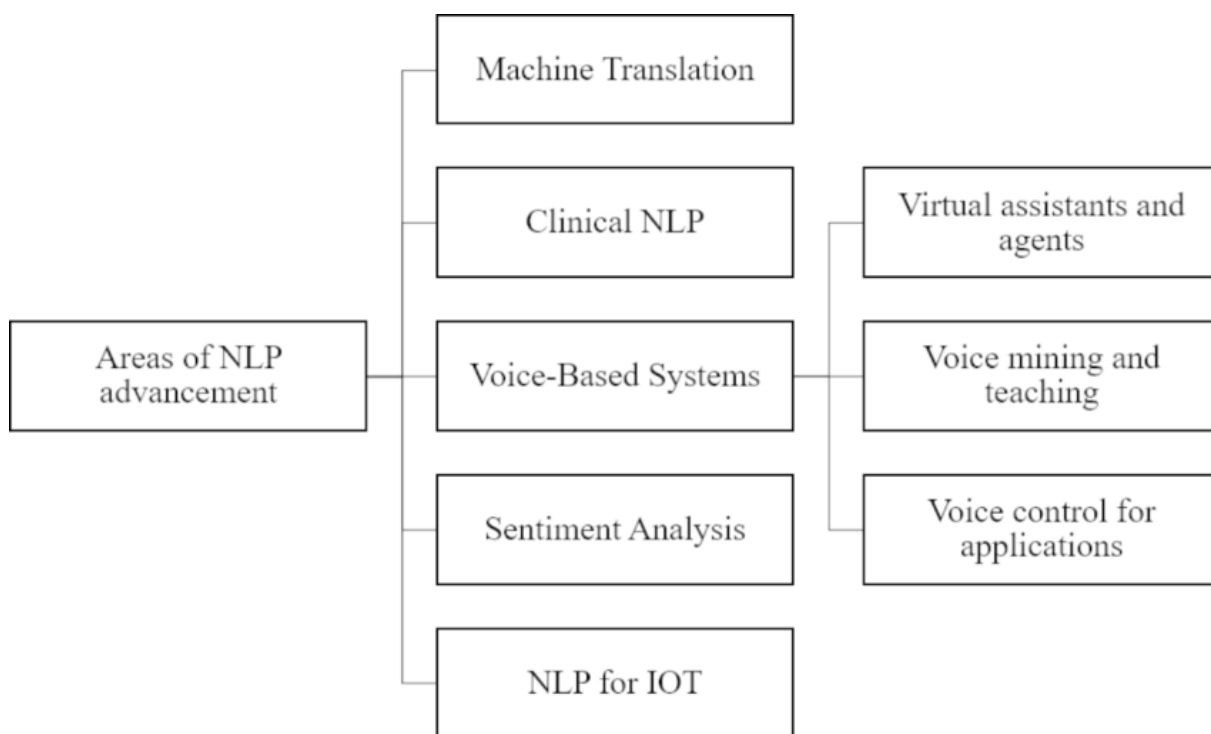
2.2.3. Processamento de Linguagem Natural em Cidades Inteligentes

O Processamento de Linguagem Natural é um subcampo da IA voltado a permitir que máquinas compreendam, processem e gerem linguagem humana, cobrindo tarefas como recuperação e extração de informação, reconhecimento de entidades, análise semântica, tradução e sumarização. Depois de preparar e representar o texto, os sistemas

aplicam técnicas que avaliam forma, som e contexto da linguagem para produzir saídas úteis, de acordo com Tyagi e Bhushan (2023) essas capacidades são mobilizadas com diferentes arquiteturas e métodos dentro do ecossistema de PLN.

No contexto de cidades inteligentes, uma parcela considerável dos dados urbanos é textual (ou voz), proveniente de ouvidorias, redes sociais, chamados e documentos oficiais. O PLN funciona como ponte entre esse conteúdo e a ação pública (triagem, monitoramento, auditoria), apoiando desde assistentes de texto/voz e busca eficiente até opinion mining e tradução para melhor comunicação em serviços setoriais. Conforme Tyagi e Bhushan (2023), essas aplicações aparecem distribuídas por domínios urbanos como saúde, indústria, mídia e educação; segue o modelo representado pelos autores na figura 7.

Figura 7. Áreas de avanços em PLN.



Fonte: 1TYAGI; BHUSHAN (2023, Fig. 1).

Na prática, as governanças podem organizar o uso de PLN em três blocos: (i) escuta social e detecção de eventos, classificando mensagens por tema/urgência; (ii) atendimento e triagem, com detecção de intenção e extração de entidades para abrir protocolos e orientar o cidadão; e (iii) governança baseada em texto, sintetizando contribuições e analisando minutas/relatórios. Para isso, são consolidadas técnicas de mineração de textos, com modelagem de tópicos (LDA, LSA, NMF) e análise de redes para revelar padrões, relações semânticas e tendências em grandes corpora, segundo Oh, Ahn, Nam e Choi (2023), estas

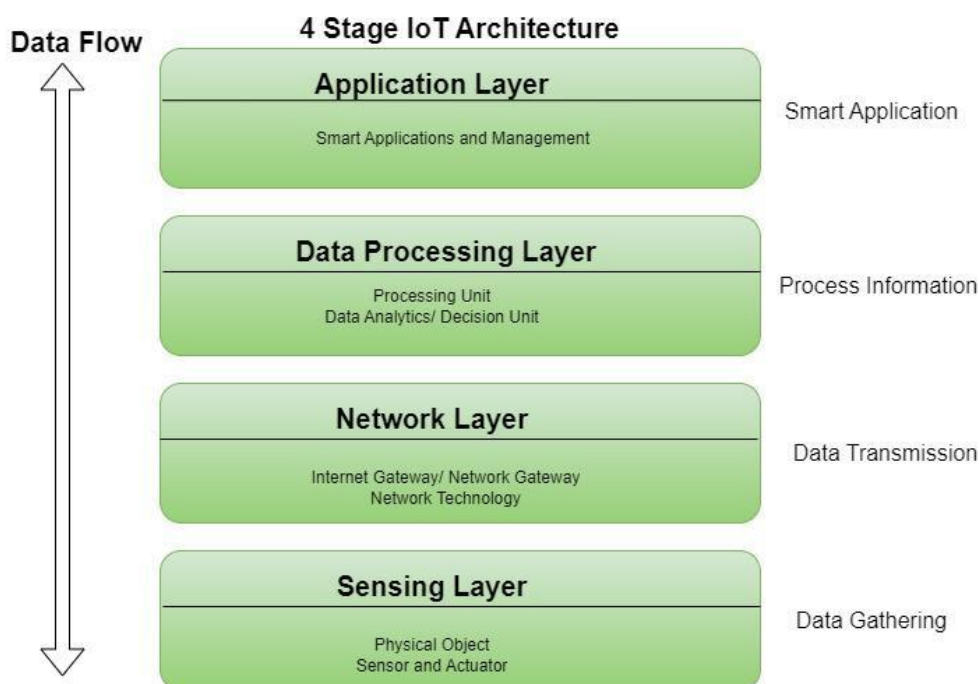
técnicas compõem o núcleo metodológico do estudo (acompanhadas de pré-processamento e métricas como TF-IDF) e são adequadas para orientar políticas e estratégias em smart cities.

2.3. Infraestrutura Urbana e Serviços públicos

De acordo com Gubbi et al. (2013), a próxima fase na era da computação vai ocorrer fora dos modos tradicionais dos computadores, com muitos dos objetos ao nosso redor ligando-se à rede de algum jeito. Eles dizem que na ideia de IoT, muitos dos objetos que estão por perto estão ligados de algum tipo permitindo uma união perfeita do ambiente e troca de detalhes entre plataformas para desenvolver uma visão operacional comum.

Zanella et al. (2014) adicionam à visão afirmando que a noção de IoT quer fazer a internet ainda mais penetrante e ubíqua. Eles dizem que, com fácil acesso e interação com várias formas de objetos, como utensílios doméstico, câmeras de segurança, sensores que vigiliam, atuadores, mostradores e carros a IoT encoraja o avanço em muitas aplicações que utilizam a vasta quantidade e tipo de dado gerado por esses itens para dar novos serviços aos cidadãos, empresas e governo.

Figura 8. Arquitetura da Internet das Coisas (IoT)



Fonte: GEEKSFORGEES (2025)

A união da IoT nas cidades inteligentes não só melhora a eficiência do trabalho, mas também aumenta a sustentabilidade e a participação dos cidadãos, ao dar dados que

podem ser usados para tomar decisões bem informadas e fazer boas políticas públicas. O trabalho da IoT tem quatro partes que dependem uma da outra, mostradas na Figura 8.

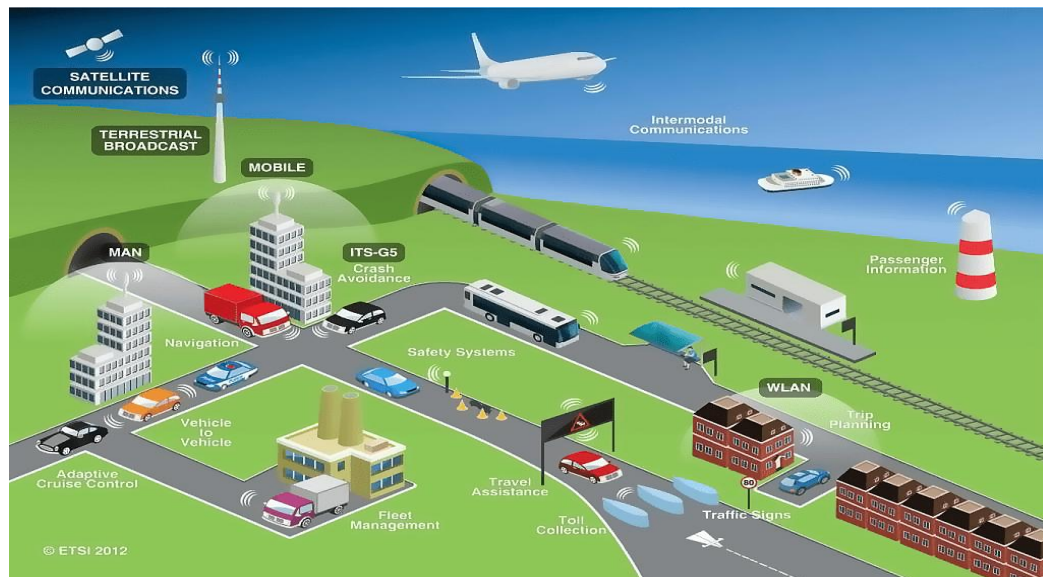
Conforme mostrado por GeeksforGeeks (2025), a camada de perceber é responsável por pegar dados do ambiente através de sensores e atuadores. Esses dados vão para a camada de rede, que faz a transmissão até os lugares de processamento usando tecnologias como Wi-Fi e 4G/5G. Depois disso, a camada de processamento vê as informações coletadas, transformando-as em ideias importantes para várias aplicações. Por fim, a camada de aplicação liga os resultados processados aos usuários, oferecendo serviços pensativos como sistemas energéticos de monitoramento ecológico.

2.4. O papel da Inteligência Artificial nas Cidades Inteligentes

A inteligência das máquinas, cada vez mais, está ajudando na mudança de cidades que antes não tinham tanta ajuda como agora com as novas tecnologias do mercado. Pode ser usada em várias áreas como, por exemplo, no transporte de veículos, no jeito que a cidade é controlada e também no cuidado com o meio ambiente sempre com o foco sustentável para o meio ambiente.

Conforme Hancke et al. (2013), a análise imediata de dados e tecnologias mais avançadas ajudam a melhorar o fluxo do trânsito, ao compartilhamento de energia e o fornecimento de recursos em situações de emergência. Sendo assim, sendo fundamental para o funcionamento do Sistema de Transporte (ITS), que utiliza sensores implementados nas vias urbanas para monitorar o tráfego e coletar informações para um melhor controle da mobilidade dentro dos grandes centros urbanos.

Figura 9. Funcionamento dos Sistemas de Transporte Inteligentes



Fonte: ETSI (2012)

Segundo ETSI (2012), os sistemas de transporte inteligentes (ITS) são arquiteturas técnicas aplicáveis a diferentes contextos urbanos, não restritos a uma cidade específica, esse tipo de sistema junta muitas técnicas diferentes, como sensores, comunicações de carros e algoritmos de inteligência artificial, visando melhorar a mobilidade de cidades e aperfeiçoar os sistemas de transporte. Isso permite a união de semáforos inteligentes; gerenciamento ativo de rotas e veículos que se movem sozinhos para funcionar juntos, proporcionando viagens mais seguras a todos. A imagem 9 apresenta, de forma clara, como uma cidade inteligente trabalha evidenciando a integração entre veículos, sensores, redes de comunicação e centros de controle. Como resultado permite uma resposta rápida a acidentes, aumenta a segurança nas estradas e reduz o impacto ambiental.

Mesmo com os ganhos, a introdução da inteligência artificial em cidades inteligentes traz desafios grandes. É importante que as cidades lidem com questões éticas da privacidade dos dados segurança e viés algorítmico para ter uma implementação justa. Para superar esses problemas, é preciso criar regras claras e lei que apoiem transparência inclusão equidade no uso desta tecnologia.

2.5. Desafios e Oportunidades na Implementação de Cidades Inteligentes

Embora as cidades inteligentes ofereçam soluções eficazes para os desafios urbanos, o uso intensivo de sistemas de Inteligência Artificial exige grande capacidade computacional, o que implica elevado consumo de energia elétrica e de água nos processos de resfriamento dos centros de dados. Esse gasto de recursos naturais evidencia que a

inovação tecnológica, se não for acompanhada de políticas de sustentabilidade digital, pode ampliar a pegada ecológica das cidades. Portanto, é necessário equilibrar o avanço tecnológico com práticas de eficiência energética e gestão responsável dos recursos, de modo que o desenvolvimento urbano não resulte em novos impactos ambientais.

Um dos maiores problemas é a segurança de dados e a privacidade dos cidadãos. Com o aumento da coleta de dados em tempo real por meio de sensores e aparelhos conectados surgem preocupações éticas quanto ao uso dessas informações e vulnerabilidade dos sistemas a ataques cibernéticos.

No Brasil, essas iniciativas devem observar a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018), em especial os princípios de finalidade, necessidade, transparência e segurança, além de medidas como a minimização, que orienta a coleta apenas de dados estritamente necessários para cada finalidade, e a anonimização, que consiste em processar os dados de modo que não permitam a identificação direta ou indireta dos cidadãos. Essas práticas são fundamentais em cidades inteligentes, pois permitem extrair padrões relevantes para a gestão urbana sem comprometer a privacidade de cada indivíduo.

Também é necessária atenção ao potencial uso da tecnologia como instrumento de controle social. Sistemas de vigilância, reconhecimento facial e análise automatizada de comportamentos, se aplicados sem transparência e regulação, podem violar direitos fundamentais e comprometer a liberdade individual. Assim, a implementação de soluções inteligentes deve ser acompanhada de governança ética, com mecanismos de auditoria e participação social que garantam o uso responsável das informações urbanas.

Segundo Elmaghraby e Losavio (2014) a proteção das informações pessoais torna-se crítica pois uma infraestrutura urbana digitalizada pode virar alvo hackers comprometendo segurança de sistemas essenciais como distribuição água, eletricidade e transporte.

Outro desafio grande para implantação em escala nas cidades inteligentes é a questão da interoperabilidade entre vários sistemas e fornecedores tecnológico. A mistura de várias plataformas de tecnologia, que quase sempre são feitas por empresas com padrões especiais, dificulta a comunicação entre os dispositivos. Isso gera o risco da fragmentação tecnológica onde sistemas deixam de interagir adequadamente, limitando a sua eficácia das soluções inteligentes. Ghaffarian Hosseini et al. (2024) dizem que a falta de padrão global para integração do IoT e redes inteligentes foi um dos grandes problemas que atrapalhou a expansão da tecnologia em muitas cidades pelo mundo.

Apesar de representar um avanço na gestão urbana, a digitalização das cidades pode

aprofundar desigualdades sociais já existentes. A dependência de plataformas tecnológicas tende a privilegiar grupos com maior acesso a recursos digitais, enquanto cidadãos em situação de vulnerabilidade permanecem à margem dos serviços públicos conectados. Sem políticas de inclusão e capacitação digital, o conceito de cidade inteligente corre o risco de se converter em um modelo excludente, que amplia a distância entre os que têm e os que não têm acesso à tecnologia.

Mesmo com esses desafios, as smart cities também apresentam grandes oportunidades como um todo. O progresso constante das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), junto com a aumentada percepção sobre a importância da sustentabilidade, está abrindo vaga para soluções mais justas e eficientes. A colaboração entre o governo e o setor privado se torna muito importante para desenvolver padrões que ajudem a se comunicar entre si e promovam seu uso de maneira adequada, garantindo que a urbanização se torne cada vez mais poderosa e preparada para lidar com problemas futuros. Projetos internacionais destacam a importância de padrões abertos e parcerias estratégicas (Interoperable Europe, 2025).

3. METODOLOGIA

Este trabalho adota uma abordagem qualitativa e exploratória, voltada a entender como a Inteligência Artificial (IA) vem sendo aplicada na transformação urbana e na gestão de cidades inteligentes. A pesquisa foi conduzida exclusivamente por levantamento bibliográfico em bases acadêmicas reconhecidas como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect e Google Scholar, considerando o período de 2009 a 2025.

Foram utilizados, em português e inglês, descritores como: “Inteligência Artificial”, “Cidades Inteligentes”, “Transformação Urbana”, “Otimização de Infraestrutura”, “Serviços Públicos” e “Smart Cities”. Os critérios de inclusão foram: publicações entre 2009–2025, artigos completos disponíveis online (periódicos e conferências revisadas por pares) e estudos de caso que descrevam aplicações concretas de IA em contexto urbano.

A triagem foi feita por títulos e resumos; os estudos elegíveis seguiram para leitura integral. A análise ocorreu em duas etapas: (1) exploratória, para verificar relevância e enquadramento temático e (2) analítica, para extrair o essencial ao objetivo do trabalho: setores urbanos impactados (p. ex., mobilidade, energia, segurança, meio ambiente), tecnologias de IA empregadas (Machine Learning/Deep Learning, visão computacional, Processamento de Linguagem Natural etc.), resultados reportados e desafios.

Para ilustrar diferentes contextos de adoção, o estudo mobiliza estudos de caso documentados de Curitiba, Barcelona, Santander, Mangalaru e Aveiro quando disponíveis em fontes acadêmicas e técnicas. Esses casos serão descritos no Capítulo 4 e posteriormente analisados comparativamente no Capítulo 5. Quando pertinente, os achados são organizados à luz das seis dimensões de cidades inteligentes propostas por Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2009) economia, mobilidade, ambiente, pessoas, vida e governança, apenas como referência analítica para situar os impactos observados.

Por se tratar de uma síntese baseada em fontes secundárias, foram encontradas algumas limitações quanto à diversidade de definições e indicadores entre estudos e à disponibilidade desigual de dados, tais riscos foram mitigados por triangulação entre artigos, documentos oficiais e relatórios técnicos sempre que possível.

3.1. Tipo de pesquisa

Uma metodologia qualitativa foi empregada para analisar detalhadamente os significados que as pessoas atribuem aos fenômenos sociais e tecnológicos relacionados ao emprego de Inteligência Artificial e à rede de objetos no processo de construção de cidades inteligentes. A pesquisa qualitativa, como falado por Creswell (2010), é “uma forma de explorar e entender o significado que as pessoas ou grupos dão a um problema social ou humano”. Nesse caso, o pesquisador analisa dados separados e forma interpretações sobre os sentidos que aparecem mais emergentes, sempre com o fim de criar um entendimento rico e situado ao que está sendo estudado.

Além de sua natureza exploratória, esta pesquisa também apresenta características descritivas, uma vez que se concentra em detalhar os efeitos observados em cidades que já implementaram tecnologias inteligentes, bem como em mapear as mudanças geradas nas dinâmicas urbanas. Segundo Yin (2003, apud Creswell, 2010), os estudos de caso qualitativos bem documentados permitem não apenas a descrição aprofundada dos fenômenos observados, mas também sua generalização teórica para novos contextos. Esta metodologia possibilita identificar as especificidades dos cenários urbanos analisados, fornecendo recursos para a reprodução e ajuste das soluções avaliadas.

A mistura de métodos exploratórios e descritivos é boa para pesquisas sobre cidades inteligentes, pois identifica avanços tecnológicos e os efeitos tangíveis. Essa estratégia metodológica possibilita captar as particularidades locais, culturais e institucionais envolvidas no processo de transformação urbana, evidenciando como a IA e a IoT contribuem para a eficiência, sustentabilidade e qualidade de vida nos espaços urbanos.

3.2. Estrutura de pesquisa

A pesquisa foi estruturada em três fases para uma abordagem ampla e detalhada sobre a adoção de tecnologias em desenvolvimento nas cidades inteligentes. Cada etapa foi planejada para investigar a aplicação dessas inovações, como a melhoria da infraestrutura urbana. Essas fases são:

3.3. Revisão de Literatura

A primeira fase envolveu uma revisão aprofundada da literatura acadêmica, focada em publicações científicas, relatórios internacionais e estudos de caso relacionados ao uso de tecnologias avançadas no ambiente civilizado. O objetivo foi localizar o status atual das aplicações práticas dessas invenções nas cidades e trazer as principais questões discutidas pela academia, como sustentabilidade, segurança de dados, privacidade e governança urbana. Esta revisão mapeou as lacunas de conhecimento e mostrou desafios e oportunidades na implementação dessas soluções.

3.3.1. Análise de casos Práticos

Na segunda fase, foram selecionados estudos de caso representativos de diferentes realidades urbanas, a fim de compreender a adoção de soluções inteligentes em contextos distintos. A análise documental buscou identificar problemas urbanos abordados, tecnologias aplicadas, resultados reportados e desafios destacados em cada experiência. Segundo Hancke et al. (2013), o uso de sensores avançados para monitoramento de recursos como tráfego e consumo de energia está entre as principais aplicações dessas tecnologias, resultando em uma gestão mais eficiente e na redução de desperdícios.

3.3.2. Comparação entre Realidades Locais e Internacionais

Na terceira etapa da pesquisa, realizou-se uma análise comparativa entre cidades de diferentes contextos locais e internacionais, a fim de identificar como variáveis estruturais e institucionais influenciam tanto a adoção quanto os resultados das soluções inteligentes.

Essa comparação buscou observar fatores como: porte urbano, capacidade financeira e institucional, cultura política, nível de engajamento cidadão e colaboração entre setores público e privado.

O objetivo foi compreender em que medida essas diferenças de contexto impactam a implementação de tecnologias inteligentes e quais padrões comuns emergem em termos de

benefícios e desafios. Os resultados dessa comparação serão detalhados no Capítulo 5 (Análise e Discussão dos Resultados), com base nos estudos de caso descritos no Capítulo 4 (Estudos de Caso em Cidades Inteligentes).

3.4. Critérios para a Seleção de Estudos de Caso

Os estudos de caso incluídos neste trabalho foram selecionados com base em três critérios principais, que garantem a relevância e a representatividade das cidades analisadas:

- **Relevância da Aplicação Tecnológica:** Foram priorizadas às cidades que usaram tecnologias de automação e conectividade em grande escala como Inteligência Artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT), mostrando bons resultados em quantidade de inovação sustentabilidade e eficiência urbana. Como falado por GhaffarianHoseini et al. (2013) o desempenho energético sustentável junto com as tecnologias conectadas é uma boa maneira para diminuir o gasto de energia e as emissões de CO₂ nas cidades, ajudando muito para melhoria dos serviços públicos na cidade.
- **Diversidade Geográfica:** A seleção contemplou cidades de diferentes contextos socioeconômicos e regiões geográficas, incluindo países desenvolvidos e em desenvolvimento. Essa abordagem comparativa permite compreender como fatores como infraestrutura, políticas públicas, cultura e nível de investimento moldam a implementação de tecnologias urbanas. Casos de cidades como Barcelona, Santander, Curitiba, Mangalaru e Aveiro exemplificam essa diversidade e permitem uma análise mais abrangente da aplicabilidade de soluções inteligentes em realidades distintas.
- **Disponibilidade de Dados confiáveis:** Apenas foram incluídas cidades que apresentaram uma base consistente de informações acessíveis, como relatórios técnicos, publicações acadêmicas e indicadores de desempenho urbano. A qualidade, confiabilidade e delimitação desses dados foram consideradas essenciais para avaliar de forma objetiva os impactos das tecnologias implementadas. Conforme argumentam Mori e Christodoulou (2012), embora o ideal fosse utilizar indicadores com base em critérios técnicos e geográficos, na prática as políticas públicas e os processos de coleta de dados dependem fortemente de limites administrativos estabelecidos, que orientam tanto a avaliação da sustentabilidade urbana quanto a formulação de políticas eficazes.

4. ESTUDOS DE CASO EM CIDADES INTELIGENTES

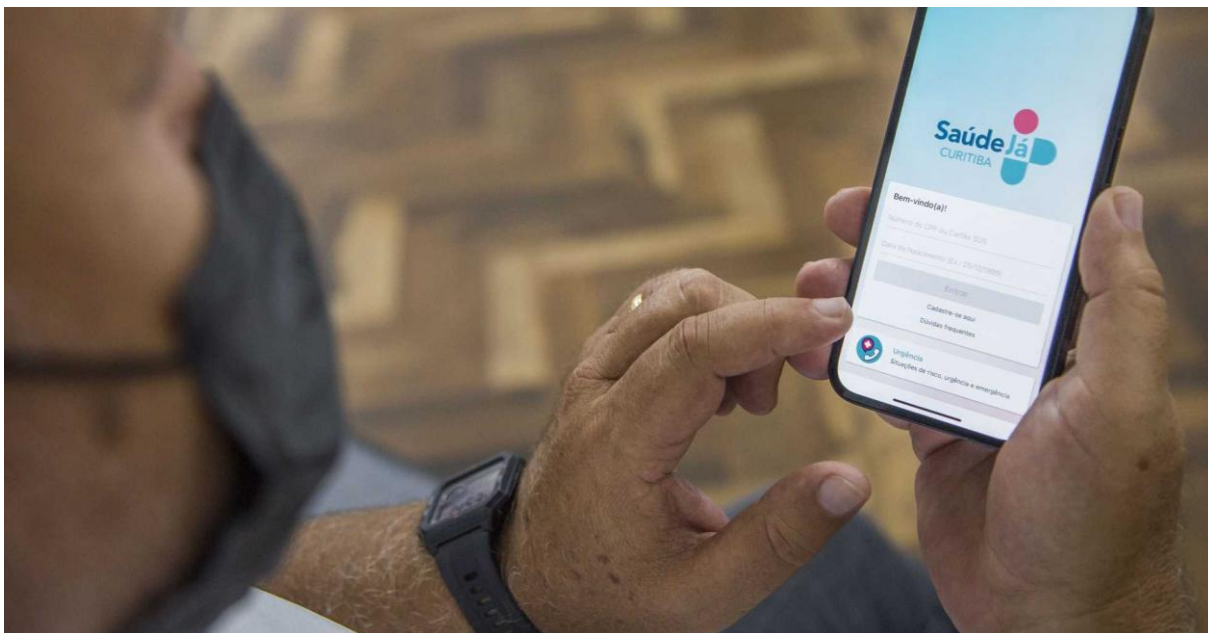
Neste capítulo, é descrito os estudos de caso de algumas cidades que optaram por implementar soluções inteligentes em sua gestão. Os exemplos escolhidos apresentam diferentes contextos de aplicação de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e plataformas de dados, em áreas como mobilidade, energia, gestão de resíduos, segurança e qualidade de vida. Com objetivo de apresentar de forma descritiva as iniciativas integradas em cada cidade, servindo como base para uma análise comparativa que será desenvolvida no Capítulo 5.

4.1. Curitiba: Inovação, Sustentabilidade e Governança Digital

Curitiba foi eleita em novembro de 2023 como a Cidade Mais Inteligente do Mundo, durante o World Smart City Awards realizado em Barcelona. O reconhecimento destacou o conjunto de políticas públicas, programas de inovação urbana, sustentabilidade ambiental e governança digital implementados pelo município. Segundo a Prefeitura de Curitiba (2023), a cidade se diferencia por adotar soluções que combinam tecnologia, sustentabilidade e inclusão social, com foco na participação cidadã.

Entre os serviços digitais de maior impacto está o aplicativo Saúde Já, que permite agendar consultas médicas, acessar informações da rede pública de saúde e acompanhar atendimentos diretamente pelo celular. Essa solução ampliou o acesso aos serviços de saúde e reduziu filas de espera, consolidando-se como uma das principais ferramentas de saúde digital do país. A Figura 10 ilustra a interface do aplicativo, em uso pelos moradores (Prefeitura de Curitiba, 2023).

Figura 10. Aplicativo Saúde Já Curitiba em uso.



Fonte: Prefeitura de Curitiba (2023)

Outro destaque é o Wi-Fi Curitiba, rede pública de internet gratuita instalada em terminais de transporte coletivo, praças e outros pontos estratégicos da cidade. A iniciativa busca democratizar o acesso à internet e reduzir desigualdades digitais. A Figura 11 apresenta um dos totens de acesso com QR Code em terminal de ônibus, exemplo de infraestrutura que integra mobilidade e inclusão digital (Prefeitura de Curitiba, 2023).

Figura 11. Ponto de acesso do Wi-Fi Curitiba em terminal de transporte.



Fonte: Prefeitura de Curitiba (2023)

Curitiba também desenvolveu o Vale do Pinhão, movimento que reúne governo, universidades, empreendedores e startups para fomentar inovação e economia criativa. O programa promove eventos, incubação de empresas e incentivos fiscais, fortalecendo o ecossistema de tecnologia local (Prefeitura de Curitiba, 2023).

No campo da sustentabilidade, destaca-se a Pirâmide Solar, instalada em um aterro sanitário desativado, que gerou aproximadamente 2.048 MWh em apenas seis meses, resultando em economia de cerca de R\$ 1,17 milhão para os cofres públicos (Prefeitura de Curitiba, 2023).

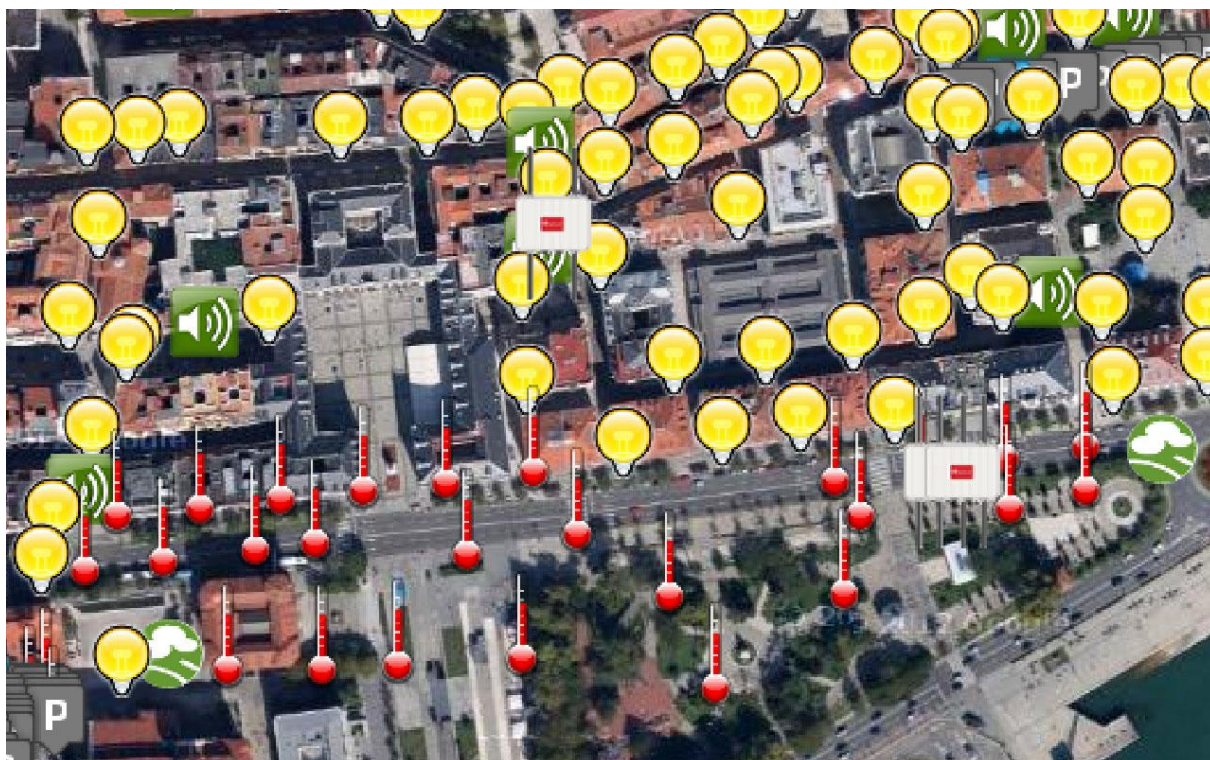
Outro avanço foi a modernização da iluminação pública. Desde 2019, a cidade vem substituindo gradualmente luminárias antigas por lâmpadas LED. Em 2024, já havia 110 mil pontos modernizados, o que representava 69% da rede. Pouco depois, o número subiu para 122 mil pontos, cobrindo cerca de 74% do município. Esse processo ocorre em parceria público-privada com a Engie e reflete ganhos de eficiência energética, segurança e sustentabilidade (Prefeitura de Curitiba, 2024a; Prefeitura de Curitiba, 2024b).

Essas iniciativas, somadas à digitalização de processos urbanos como alvarás, licenças e certidões já disponíveis online reforçam o posicionamento de Curitiba como referência mundial em inovação, planejamento urbano e gestão inteligente de cidades.

4.2. Santander (Espanha): Monitoramento Urbano com IoT

Santander, na Espanha, é reconhecida pela implantação de uma ampla rede de sensores conectados para apoiar a gestão dos serviços urbanos. Segundo a Ubidots (2023), os dispositivos estão instalados em pontos estratégicos da cidade, como postes de iluminação, lixeiras e estacionamentos, transmitindo informações em tempo real para uma plataforma central. Isso possibilita o ajuste automático de serviços, como a otimização das rotas de coleta de lixo e a eficiência no consumo de energia da iluminação pública.

Figura 12. Rede de Sensores aplicada à gestão urbana em Santander



Fonte: Ubidots (2023)

De acordo com a Voltimum (2013), o projeto inicial já contava com cerca de 12 mil sensores, o que consolidou Santander como um dos primeiros exemplos europeus de uso da Internet das Coisas (IoT) em larga escala. A Figura X apresenta a distribuição dessa rede, que tornou a cidade referência internacional em soluções urbanas baseadas em dados.

4.3. Barcelona (Espanha): Mobilidade e Gestão de Resíduos Inteligentes

Barcelona consolidou-se como referência global em cidades inteligentes, adotando um modelo integrado que combina tecnologia, sustentabilidade e participação cidadã. Segundo relatório da Cisco Consulting Services (2014), a estratégia começou a ser estruturada em 2012 com o objetivo de transformar a vida dos cidadãos e aumentar a eficiência dos serviços urbanos por meio de uma “rede das redes”, conectando áreas como transporte, energia, resíduos e telecomunicações.

No campo da infraestrutura, a cidade implantou mais de 500 km de fibra óptica, que serve de espinha dorsal para os projetos de IoT. Ainda de acordo com a Cisco (2014), programas como Smart Water, Smart Lighting e Smart Parking foram desenvolvidos com base nessa rede, resultando em economia anual de aproximadamente US\$ 58 milhões em água e US\$ 50 milhões em receitas de estacionamento, além da criação de cerca de 47 mil empregos vinculados ao

ecossistema urbano.

A cidade de Barcelona fez uma nova abordagem inovadora ao integrar Internet das Coisas (IoT) em sua estrutura de coleta de resíduos. A cidade adicionou sensores em lixeiras públicas que observam em tempo real os níveis de preenchimento, temperatura e movimentação. Essas informações são levadas por redes LoRaWAN para a plataforma da Sentilo, fazendo com que o sistema de gestão de resíduos melhore rotas na hora da coleta, abaixe muito custos operacionais e reduza o impacto ambiental. Além disso, Barcelona colocou em ação o sistema "Smart Waste Collection with Sentilo" que utiliza processamento complexo de eventos (CEP) para analisar os dados obtidos em tempo real e usar regras que otimizam caminhos, horários e áreas de coleta.

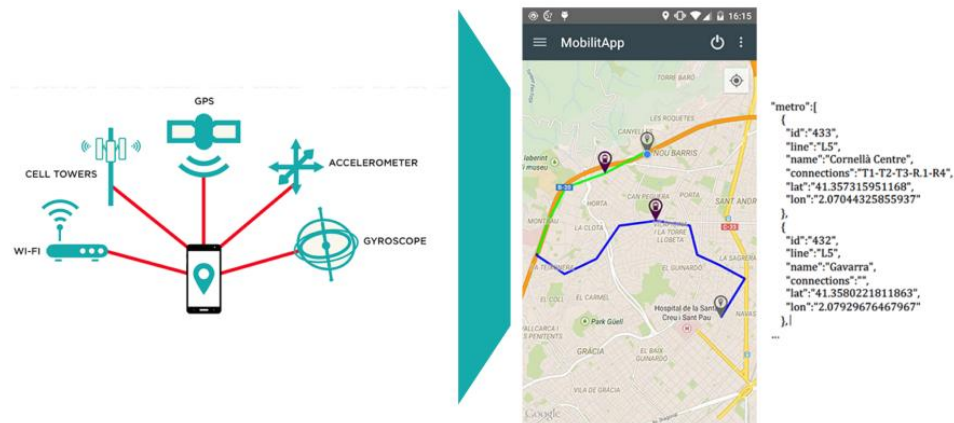
Figura 13. Gerenciamento na coleta de resíduos em Barcelona, com o uso de sensores



Fonte: Info Barcelona (2022)

Outro destaque é a mobilidade urbana. O aplicativo MobilitApp coleta dados anônimos de deslocamento dos cidadãos por meio de sensores do celular (acelerômetro, GPS e giroscópio). Conforme Puglisi et al. (2016), o sistema identifica modos de transporte (ônibus, metrô, carro, bicicleta) e gera indicadores sobre hábitos de mobilidade, pegada de carbono e congestionamentos. Essas informações ajudam a Prefeitura a planejar políticas públicas mais assertivas, conforme ilustrado na Figura 14, que apresenta a interface do MobilitApp utilizada no monitoramento da mobilidade metropolitana.

Figura 14. Interface do MobilitApp para análise de padrões de mobilidade em Barcelona.



Fonte: Puglisi et al. (2016, p. 3).

Diante dessas iniciativas, Barcelona tornou-se um ecossistema urbano interconectado, que alia tecnologia aberta, participação cidadã e parcerias público-privadas. A experiência mostra como a integração de dados em tempo real pode otimizar mobilidade, energia, resíduos e água, consolidando a cidade como um modelo de smart city na Europa.

4.4. Mangalaru (Índia): Gestão de Resíduos com QR Codes

Mangaluru, na Índia, adotou uma solução baseada em códigos QR para melhorar a gestão da coleta de resíduos urbanos. De acordo com o portal Daijiworld (2021), cerca de 68 mil edificações, entre casas, apartamentos, hotéis e comércios, receberam etiquetas com QR Codes, que são escaneados no momento da coleta de lixo. A informação é transmitida em tempo real ao Centro Integrado de Comando da Cidade Inteligente, permitindo verificar quais locais tiveram a coleta realizada (Figura 15).

Figura 15. QR Code na cidade de Mangaluru



Fonte: DaijiWorld Media NetWork (2021)

Segundo Arun Prabha, gerente geral da Mangaluru Smart City Ltd., ainda existem limitações técnicas: nem todos os códigos são digitalizados, seja pela rotatividade das equipes ou pela falta de dispositivos suficientes. Contudo, a administração municipal já anunciou a ampliação do sistema para os distritos norte e sul, com a entrega de novos equipamentos aos trabalhadores cívicos. Essa experiência mostra como soluções relativamente simples, como QR Codes, podem gerar ganhos de eficiência e transparência na coleta de resíduos urbanos.

4.5. Aveiro (Portugal): IoT e IA aplicadas à Gestão Viária

Conforme apontado por Dias et al. (2023, p. 8), um estudo de caso foi realizado na cidade de Aveiro com o objetivo de demonstrar como o sistema ICMS (Intelligent City Management System) pode ser aplicado em cenários reais. A pesquisa utilizou dados urbanos coletados por sensores instalados na cidade e foi testada durante o hackathon “Aveiro Tech City”. Para isso, foram analisados dois meses de informações: o primeiro destinado ao treinamento dos modelos e o segundo à avaliação dos resultados.

Um dos principais indicadores observados foi o risco viário, calculado pela proporção entre veículos em excesso de velocidade e o número de pedestres por hora, em cada rua monitorada. Essa métrica permitiu identificar pontos onde o comportamento dos motoristas apresenta maior perigo aos pedestres. Segundo os autores, “a razão entre o número de veículos em excesso de velocidade e o número de pedestres, por hora do dia, pode ser visualizada para cada rua de Aveiro equipada com a infraestrutura inteligente [...] o que indicou a necessidade de mecanismos adicionais de redução de velocidade, como lombadas e faixas vibratórias, para induzir os motoristas a diminuírem a velocidade” (DIAS et al., 2023, p. 8).

Figura 16. Indicador de risco viário em Aveiro



Fonte: Dias et al. (2023, p. 8)

A Figura 16 ilustra o indicador de risco viário desenvolvido a partir do sistema ICMS, demonstrando a relação entre o número de veículos em alta velocidade e a presença de pedestres em diferentes horários e locais. Em vez de apenas apresentar dados quantitativos, essa representação visual evidencia a capacidade preditiva dos modelos de IA aplicados em Aveiro, revelando como o cruzamento entre dados de sensores e variáveis comportamentais permite antecipar zonas críticas antes que acidentes ocorram.

Essas evidências mostram o potencial da combinação entre Inteligência Artificial e Internet das Coisas (IoT) para converter dados urbanos em ações concretas de gestão. O caso de Aveiro exemplifica como análises baseadas em dados podem orientar decisões públicas mais precisas e preventivas, otimizando o uso de recursos e promovendo maior segurança viária. Dessa forma, o estudo reforça o papel das cidades inteligentes como laboratórios vivos de inovação, capazes de testar e escalar soluções tecnológicas voltadas à melhoria da qualidade de vida urbana.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A investigação conjunta dos casos de Curitiba, Santander, Barcelona, Mangaluru e Aveiro evidencia que as iniciativas de cidades inteligentes vêm consolidando novos referenciais para a gestão urbana. Apesar das particularidades institucionais e socioeconômicas de cada contexto, a análise comparativa possibilita reconhecer elementos-chave que favorecem o sucesso dessas cidades, obstáculos recorrentes que limitam a implementação e padrões comuns que podem orientar a atuação de gestores e formuladores de políticas públicas.

5.1. Quadro Comparativo dos Casos

Os estudos de caso foi organizada em um quadro comparativo, elaborado a partir de critérios inspirados na literatura revisada no capítulo 2. Os critérios relacionados ao problema urbano, tecnologia adotada, resultados obtidos, principais desafios e parcerias público-privadas, dialogam diretamente com as dimensões propostas por Nam e Pardo (2011) e Albino, Berardi e Dangelico (2015), que ressaltam a integração entre tecnologia, governança e capital humano como pilares das cidades inteligentes.

Quadro 1. Comparativo dos estudos de caso em cidades inteligentes

Local De Aplicação	Problema Urbano Abordado	Tecnologia Chave Utilizada	Resultados Obtidos	Principais Desafios	Parcerias Público-Privadas
Curitiba	Saúde digital, mobilidade, energia	Aplicativos móveis, Wi-Fi público, energia solar e LED	Redução de filas médicas, inclusão digital, economia de energia	Escalabilidade e custos de manutenção	Sim, destaque na iluminação pública (PPP com Engie) e no Vale do Pinhão
Santander	Gestão de resíduos e iluminação	Rede de sensores IoT	Otimização de rotas, eficiência energética	Custos elevados de infraestrutura	Não, formalizadas liderança municipal com apoio tecnológico
Barcelona	Mobilidade e gestão de resíduos	IoT, big data, apps de mobilidade	Economia anual significativa, geração de empregos	Privacidade de dados, integração de sistemas	Sim, forte articulação entre governo, empresas de tecnologia e universidades
Mangaluru	Coleta de resíduos	QR Codes	Transparência e monitoramento em tempo real	Baixa adesão e limitações técnicas	Não, iniciativa conduzida pela administração municipal
Aveiro	Segurança viária e mobilidade	IoT + Inteligência Artificial	Identificação de riscos, intervenções preventivas	Sustentabilidade do modelo em longo prazo	Não, projeto experimental vinculado a pesquisa acadêmica

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

5.2. Padrões de Sucesso Identificados

A leitura comparativa dos casos revela alguns pontos chaves que explicam o êxito das iniciativas. O primeiro deles é a centralização do uso de dados ao vivo, que aparece em quase todas as cidades analisadas como um recurso essencial para transformar a gestão pública. Seja

na otimização das rotas de coleta de resíduos em Santander, no monitoramento de mobilidade em Barcelona ou na identificação de riscos viários em Aveiro, a análise contínua das informações permitiu não apenas maior eficiência, mas também decisões mais rápidas e fundamentadas.

Outro aspecto relevante é a presença de parcerias público-privadas, ainda que não tenha sido um padrão observado em todas as experiências analisadas. Nos casos de maior complexidade, como Curitiba e Barcelona, essas parcerias desempenharam papel decisivo ao viabilizar investimentos em larga escala, fomentar a inovação e reduzir riscos para o setor público. Já em cidades como Santander, Mangaluru e Aveiro, as iniciativas ocorreram predominantemente sob a liderança do poder público, em alguns casos com apoio tecnológico ou acadêmico, mas sem a formalização de parcerias estruturadas com o setor privado.

A inclusão digital também se mostra como condição indispensável de equidade social. Em Curitiba, por exemplo, a combinação de redes públicas de Wi-Fi com serviços de saúde digital ampliou o acesso da população a direitos básicos, demonstrando que a tecnologia só cumpre plenamente seu papel quando chega de forma democrática aos cidadãos.

Por fim, a sustentabilidade energética e ambiental aparece como eixo estratégico das iniciativas, evidenciada tanto na substituição da iluminação pública por lâmpadas LED quanto na adoção de energia solar e no uso de sistemas inteligentes de resíduos. Esses exemplos demonstram que eficiência econômica e preservação ambiental podem caminhar juntas, constituindo-se como tendência global no campo das cidades inteligentes.

5.3. Barreiras e Desafios Comuns

Apesar dos avanços, as experiências analisadas revelam algumas dificuldades recorrentes para consolidação dos projetos. Os altos custos de implementação e manutenção se apresentam como um dos principais problemas, sobretudo em cidades de médio porte, que enfrentam limitações orçamentárias significativas. Problemas de interoperabilidade entre diferentes plataformas e fornecedores comprometem a integração dos sistemas e reduzem a efetividade das soluções. Esse desafio pode ser mitigado com a adoção de padrões abertos, que permitem maior integração entre tecnologias e já vêm sendo defendidos em iniciativas como o Interoperable Europe.

Outro desafio recorrente diz respeito à privacidade e à governança de dados. À medida que aumenta a coleta de informações urbanas, cresce também a preocupação com a proteção da privacidade individual e o cumprimento de legislações específicas, como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) (Brasil, 2018), que reforça a necessidade de mecanismos de

anonimização e minimização, de modo a conciliar inovação tecnológica e proteção da privacidade. Soma-se a isso a desigualdade de acesso, evidenciada em contextos como o de Mangaluru, onde mesmo soluções simples enfrentam dificuldades ligadas à adesão popular, à carência de infraestrutura e à exclusão digital de parte da população.

5.4. Discussão: Implicações para a Governança Urbana

Os resultados demonstram que as cidades inteligentes não devem ser entendidas apenas como territórios tecnologicamente avançados, mas como ecossistemas complexos de inovação, governança e cidadania. A governança baseada em dados surge como elemento central para decisões mais eficientes e precisas, mas exige também transparência e mecanismos de prestação de contas nas decisões automatizadas, de modo a fortalecer a confiança pública e socioeconômica. Nesse sentido, a adoção de práticas de explicabilidade da IA (explainable AI) e de auditorias institucionais torna-se indispensável para que os cidadãos compreendam como e por que decisões digitais são tomadas, evitando percepções de arbitrariedade e reforçando o princípio de equidade.

Ao mesmo tempo, a flexibilidade das soluções mostra-se fundamental, pois a experiência de Mangaluru comprova que iniciativas de baixo custo podem ser tão eficazes quanto projetos de maior complexidade, desde que adaptadas às condições locais. Esse achado evidencia que não há um modelo universal de cidade inteligente, mas sim estratégias que precisam ser moldadas conforme os recursos e necessidades de cada realidade.

Entretanto, a viabilidade dessas estratégias depende fortemente da presença e do comprometimento do setor público. A implementação e a manutenção de projetos de cidades inteligentes exigem coordenação institucional, regulação e financiamento contínuo, responsabilidades que não podem ser integralmente transferidas à iniciativa privada. Embora empresas e startups desempenhem papel relevante na inovação, apenas a atuação conjunta do poder público, do setor privado e da sociedade civil garante a continuidade e o alinhamento das políticas urbanas inteligentes ao interesse coletivo.

Um dos fatores determinantes é a participação cidadã, uma vez que o engajamento da população, seja por meio do uso de aplicativos digitais, seja pela definição de prioridades urbanas, constitui a base para a legitimação das transformações. Da mesma forma, a integração institucional revela-se indispensável: apenas com a articulação entre diferentes esferas governamentais, setor privado e sociedade civil organizada é possível assegurar a eficácia e a continuidade dos projetos.

Em síntese, a construção de cidades inteligentes depende de muito mais do que

inovações tecnológicas. Requer políticas públicas consistentes, governança participativa e estratégias de inclusão social, de modo que os benefícios da transformação digital sejam amplamente distribuídos, respeitando tanto as especificidades locais quanto os direitos dos cidadãos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) e da Internet das Coisas (IoT) nas cidades já é algo concreto e traz resultados que fazem diferença no dia a dia. Mais do que aplicar tecnologias modernas, o que se percebe é que os resultados dependem de como cada cidade organiza essas ferramentas dentro da sua realidade. Uma cidade inteligente, portanto, não é apenas um espaço cheio de recursos digitais, mas sim um ambiente onde a inovação anda junto com a inclusão social, a sustentabilidade e a participação dos cidadãos.

A partir das experiências analisadas, algumas orientações podem ajudar gestores públicos que desejam seguir esse caminho. A primeira é cuidar da governança dos dados, ou seja, ter regras claras para o uso das informações coletadas, garantindo transparência e respeito à privacidade. Outra lição importante é que não é preciso começar sempre com soluções caras ou muito complexas, experiências como a de Mangaluru mostram que tecnologias simples e baratas também podem gerar bons resultados quando bem aplicadas. Também fica evidente que não adianta investir em ferramentas digitais se parte da população continua excluída do acesso, por isso iniciativas de inclusão digital, como internet pública ou aplicativos de fácil uso, são indispensáveis. Além disso, quando há cooperação entre governo, empresas e sociedade, as chances de sucesso aumentam, pois os custos, riscos e responsabilidades são divididos.

Assim, a conclusão que se tira é que o futuro das cidades inteligentes não depende apenas das tecnologias em si, mas da forma como elas são planejadas e usadas em favor da população. O verdadeiro ganho acontece quando inovação e gestão caminham lado a lado com justiça social, participação ativa do cidadão e o cuidado com o meio ambiente. Só assim a tecnologia deixa de ser uma vitrine de modernidade e passa a ser, de fato, um meio para melhorar a vida nas cidades.

6.1. Trabalhos Futuros

Apesar desta pesquisa ter discutido os efeitos das tecnologias emergentes nas cidades inteligentes, ainda existem vários tópicos que necessitam de um estudo mais aprofundado. A governança de dados em contextos urbanos interligados é um campo crucial para pesquisas

futuras. A proteção e a privacidade de dados pessoais representam desafios significativos, principalmente à medida que as informações se consolidam como alicerce para a administração de infraestruturas urbanas. Portanto, a criação de protocolos de segurança mais sólidos e políticas de proteção será vital para assegurar a confiança dos cidadãos e a aplicação ética dessas soluções.

Outro aspecto relevante a ser levado em conta é a inclusão digital. Garantir inovações tecnológicas acessíveis a todos, especialmente em áreas com desigualdade social e infraestrutura limitada, é um desafio que precisa ser enfrentado em estudos futuros. É importante examinar modelos de financiamento e políticas do governo para fomentar a democratização do acesso às tecnologias e à conexão.

A sustentabilidade ambiental também precisa ser mais aprofundada em pesquisas futuras, especialmente no que diz respeito ao impacto a longo prazo das tecnologias aplicadas à gestão de energia e à redução de emissões de carbono. Embora algumas cidades estejam alcançando resultados expressivos na eficiência energética, há um campo vasto a ser explorado sobre a integração de energias renováveis e como essa transição pode ser ampliada em escala global.

Por fim, será necessário investigar mais profundamente a aceitação social dessas inovações, com foco em como as transformações tecnológicas afetam o cotidiano dos cidadãos. A criação de políticas participativas e de mecanismos de transparência será essencial para aumentar a adesão da população e garantir que as mudanças sejam vistas de forma positiva. A participação ativa dos cidadãos nos processos decisórios urbanos será vital para garantir que as soluções tecnológicas realmente atendam às necessidades da sociedade.

6.2. Limitações do Estudo

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser examinadas na representação dos resultados. Inicialmente, a pesquisa baseou-se limitativamente em dados secundários, como publicações acadêmicas e relatórios técnicos. A ausência de entrevistas com especialistas e gestores urbanos reduziu a profundidade do estudo, principalmente no que se refere aos aspectos operacionais, sociáveis e institucionais da adoção de tecnologias inteligentes em diferentes contextos urbanos.

Como aponta Picon (2017), o discurso das cidades inteligentes tende a negligenciar uma série de realidades problemáticas, particularmente aquelas que dizem respeito à complexidade social, cultural e ambiental dos espaços urbanos. O autor afirma que: “Agora, tanto como um ideal e como um processo, a cidade inteligente enfrenta um número de desafios que são

simultaneamente tecnológicos, sociais e culturais. [...] Em particular, precisamos deixar no passado o que ainda é a qualidade demasiado simplificada de representações da cidade inteligente propostas por seus vários stakeholders.” (PICON, 2017, p.42);

Ainda segundo o autor, há uma tendência a promover modelos genéricos de cidades inteligentes, ignorando as especificidades locais e regionais. Essa crítica se aplica também à presente pesquisa, que ao selecionar casos com base em dados acessíveis e consolidados, pode ter deixado de captar as nuances de cidades em situações de maior vulnerabilidade ou informalidade tecnológica. Picon argumenta que:

“Acima de tudo, não pode haver apenas um ou dois cenários que levem a essa cidade. Diversificação é claramente necessária neste momento, mesmo se for apenas porque as situações diferem enormemente de um país a outro.” (PICON, 2017, p. 45).

Apesar dessas limitações, o estudo apresenta uma contribuição relevante ao analisar experiências urbanas diversas e documentadas. A variação geográfica e a revisão de literatura qualificada oferecem um panorama robusto sobre as principais direções tecnológicas adotadas pelas cidades e os desafios que enfrentam em contextos distintos. A limitação reconhecida neste capítulo serve, portanto, como oportunidade para futuras investigações com metodologias mistas e abordagens mais participativas. Essa limitação foi mitigada pela triangulação de diferentes fontes acadêmicas, documentos oficiais e relatórios técnicos, de modo a reforçar a consistência da análise.

7. REFERÊNCIAS

CARAGLIU, A.; DEL BO, C.; NIJKAMP, P. **Smart cities in Europe**. Research Memorandum 2009–48. Amsterdam: VU University Amsterdam, Faculty of Economics and Business Administration, 2009. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/vua/wpaper/2009-48.html>. Acesso em: 4 maio 2025.

HANCKE, G. P.; SILVA, B. de C. e; HANCKE JUNIOR, G. P. **The role of advanced sensing in smart cities**. *Sensors*, v. 13, n. 1, p. 393–425, 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/13/1/393>. Acesso em: 3 maio 2025.

BERARDI, U. **Sustainability assessment of urban communities through rating systems**. *Environment, Development and Sustainability*, v. 15, n. 6, p. 1573–1591, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-013-9462-0>. Acesso em: 3 maio 2025.

ALAWADHI, S. et al. **Building understanding of smart city initiatives**. In: *Electronic Government: 11th IFIP WG 8.5 International Conference, EGOV 2012, Proceedings*. p. 40–53, 2012. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-33489-4_4. Acesso em: 3 maio 2025.

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. Disponível em: https://www.academia.edu/22605006/Smart_Cities_Definitions_Dimensions_Performance_and_Initiatives. Acesso em: 3 maio 2025.

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. Disponível em: https://www.academia.edu/22605006/Smart_Cities_Definitions_Dimensions_Performance_and_Initiatives. Acesso em: 3 maio 2025.

DEAKIN, M.; AL WAER, H. **From intelligent to smart cities.** *Intelligent Buildings International*, v. 3, n. 3, p. 140–152, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17508975.2011.586673>. Acesso em: 3 maio 2025.

GUEDES, A. L. A. et al. **Cidades inteligentes nas dimensões: planejamento, governança, mobilidade, educação e saúde.** 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Dimensoes-Principais-de-uma-Cidade-Inteligente-e-seus-Componentes-Constituintes_fig14_343239596. Acesso em: 3 maio 2025.

GUBBI, J. et al. **Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions.** *Future Generation Computer Systems*, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>. Acesso em: 4 maio 2025.

ZANELLA, A. et al. **Internet of Things for smart cities.** *IEEE Internet of Things Journal*, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260540297_Internet_of_Things_for_Smart_Cities. Acesso em: 4 maio 2025.

ELMAGHRABY, A. S.; LOSAVIO, M. M. **Cyber security challenges in smart cities: safety, security and privacy.** *Journal of Advanced Research*, v. 5, n. 4, p. 491–497, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123214000290>. Acesso em: 4 maio 2025.

ELMAGHRABY, A. S.; LOSAVIO, M. M. **Cyber security challenges in smart cities: safety, security and privacy.** *Journal of Advanced Research*, v. 5, n. 4, p. 491–497, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123214000290>. Acesso em: 4 maio 2025.

GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. **IoT-enabled smart cities: a hybrid systematic analysis of key research areas, challenges, and recommendations for future direction.** *Discover Cities*, v. 1, n. 2, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44327-024-00002-w>. Acesso em: 4 maio 2025.

INTEROPERABLE EUROPE. **Smart and sustainable cities and communities (RP2025).** 2025. Disponível em: <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/smart-and-sustainable-cities-and-communities-rp2025>. Acesso em: 4 maio 2025.

VOLTIMUM. **Cidade inteligente: em Santander, 12 mil sensores enviam informações sobre iluminação, lixo, ar.** 2013. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/articles/cidade-inteligente-em-santander-12-mil-sensores-enviam-informacoes-sobre-iluminacao-lixo-ar>. Acesso em: 4 maio 2025.

BCN ADVISORS. **Barcelona smart city o ciudad inteligente.** 2019. Disponível em: <https://www.bcn-advisors.com/barcelona-una-ciudad-inteligente-lider>. Acesso em: 4 maio 2025.

KON, F.; SANTANA, E. F. Z. **Cidades inteligentes: conceitos, plataformas e desafios.** In: JAI 2016 – CSBC. IME-USP, 2016. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~kon/presentations/JAI2016-CidadesInteligentes.pdf>. Acesso em: 4 maio 2025.

CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Amsterdã se destaca como cidade inteligente.** 2022. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/boas-praticas/21>. Acesso em: 4 maio 2025.

GEODAN. **Managing urban processes intelligently with the Amsterdam smart city dashboard.** 2023. Disponível em: <https://www.geodan.com/knowledge-and-innovation/managing-urban-processes-intelligently-with-the-amsterdam-smart-city-dashboard/>. Acesso em: 4 maio 2025.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/95271542/Livro_CRESWELL_John_W_PROJETO_DE_PESQUISA_MÉTODOS_QUALITATIVO_QUANTITATIVO_MISTO_2010. Acesso em: 4 maio 2025.

KUYPER, T. **Smart city strategy & upscaling: comparing Barcelona and Amsterdam.** 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311676890_Smart_City_Strategy_Upscaling_Comparing_Barcelona_and_Amsterdam. Acesso em: 4 maio 2025.

GHAFFARIANHOSEINI, A. et al. **Sustainable energy performances of green buildings: a review of current theories, implementations and challenges.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 25, p. 1–17, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.010>. Acesso em: 5 maio 2025.

MORI, K.; CHRISTODOULOU, A. **Review of sustainability indices and indicators: towards a new City Sustainability Index (CSI).** *Environmental Impact Assessment Review*, v. 32, n. 1, p. 94–106, 2012. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Review%20of%20sustainability%20indices%20and%20indicators%3A%20Towards%20a%20new%20City%20Sustainability%20Index%20%28CSI%29&author=Mori&publication_year=2012. Acesso em: 4 maio 2025.

PICON, A. **Os limites da inteligência: sobre os desafios enfrentados por cidades inteligentes.** *Revista Eco-Pós*, v. 20, n. 3, p. 39–48, 2017. Disponível em: https://ecopos.emnuvens.com.br/eco_pos/article/view/14472. Acesso em: 5 maio 2025.

DIAS, T. et al. **From data to action: exploring AI and IoT-driven solutions for smarter cities.** *arXiv preprint*, arXiv:2306.04653, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2306.04653>. Acesso em: 5 maio 2025.

GOMES E CARVALHO, J. M. **Vida e lixo: a situação de fragilidade dos catadores de material reciclável e os limites de reciclagem.** 2005. Disponível em: <https://www.relise.eco.br/index.php/relise/article/view/642>. Acesso em: 14 maio 2025.

DAJIWORLD MEDIA NETWORK. **Mangaluru: garbage collection QR codes in city go without scanning.** Mangaluru, 30 out. 2021. Disponível em: <https://www.daijiworld.com/news/newsDisplay?newsID=888591>. Acesso em: 14 maio 2025.

SENTILO. **Smart waste collection with Sentilo.** 2025. Disponível em: <https://www.sentilo.io/smart-waste-collection-with-sentilo/>. Acesso em: 14 maio 2025.

BARCELONA. **Smart recycling deposits and waste containers for selective waste collection in Sant Andreu del Palomar.** 2025. Disponível em: https://www.barcelona.cat/infobarcelona/en/tema/environment-and-sustainability/smart-recycling-deposits-and-waste-containers-for-selective-waste-collection-in-sant-andreu-del-palomar_1136483.html. Acesso em: 14 maio 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).** *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 15 ago. 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 13 ago. 2025.

DOU, X. et al. **Machine learning for smart cities: a comprehensive review of applications and opportunities**. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, v. 14, n. 9, 2023. Disponível em: https://thesai.org/Downloads/Volume14No9/Paper_104-Machine_Learning_for_Smart_Cities.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

STRYKER, C.; KAVLAKOGLU, E. **O que é inteligência artificial (IA)?** *IBM Think*, 9 ago. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/artificial-intelligence>. Acesso em: 17 ago. 2025.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach (Global Edition)**. 4. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2022. Disponível em: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292401171_A41586057/preview-9781292401171_A41586057.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

JORDAN, M. I.; MITCHELL, T. M. **Machine learning: trends, perspectives, and prospects**. *Science*, v. 349, n. 6245, p. 255–260, 2015. DOI: 10.1126/science.aaa8415. Disponível em: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.aaa8415>. Acesso em: 17 ago. 2025.

BEZERRA, E. **Introdução à aprendizagem profunda**. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309321510_Introducao_a_Aprendizagem_Profunda. Acesso em: 18 ago. 2025.

TYAGI, N.; BHUSHAN, B. **Demystifying the role of natural language processing (NLP) in smart city applications: background, motivation, recent advances, and future research directions**. *Wireless Personal Communications*, v. 130, n. 2, p. 857–908, 2023. DOI: 10.1007/s11277-023-10312-8. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369299188_Demystifying_the_Role_of_Natural_Language_Processing_NLP_in_Smart_City_Applications_Background_Motivation_Recent_Advances_and_Future_Research_Directions. Acesso em: 18 ago. 2025.

OH, M. et al. **New trends in smart cities: the evolutionary directions using topic modeling and network analysis**. *Systems*, v. 11, n. 8, art. 410, 2023. DOI: 10.3390/systems11080410. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-8954/11/8/410/pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.

PREFEITURA DE CURITIBA. **Curitiba: a cidade mais inteligente do mundo de 2023**. Curitiba, 8 nov. 2023. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/especiais/curitiba-a-cidade-mais-inteligente-do-mundo-de-2023/49>. Acesso em: 14 set. 2025.

PREFEITURA DE CURITIBA. **Curitiba avança na modernização da iluminação com LED e moradores aprovam**. Curitiba, 10 nov. 2024. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/curitiba-avanca-na-modernizacao-da-iluminacao-com-led-e-moradores-aprovam/74897>. Acesso em: 14 set. 2025.

PREFEITURA DE CURITIBA. **Na iluminação, Prefeitura de Curitiba equilibra modernidade e respeito ao meio ambiente**. Curitiba, 2024. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/na-iluminacao-prefeitura-de-curitiba-equilibra-modernidade-e-respeito-ao-meio-ambiente/75433>. Acesso em: 14 set. 2025.

UBIDOTS. **Smart city pioneer: Santander, Spain**. *Ubidots Blog*, 2023. Disponível em: <https://pt.ubidots.com/blog/smart-city-pioneer-santander-spain>. Acesso em: 14 set. 2025.

CISCO CONSULTING SERVICES. **Perfil da jurisdição: cidade inteligente de Barcelona**. Cisco Systems, 2014. Disponível em: <https://www.cisco.com>. Acesso em: 14 set. 2025.

PUGLISI, S.; AGUILAR IGARTUA, M.; CASANOVA FOUCE, S. **MobilitApp+: analysing mobility**

data of citizens in the metropolitan area of Barcelona. *arXiv preprint*, 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1605.06536>. Acesso em: 14 set. 2025.