

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO
DOUTORADO

MICHELE KREMER SOTT

**A QUALIDADE EDUCACIONAL COMO DETERMINANTE DE CIDADES
INTELIGENTES BRASILEIRAS: UMA ANÁLISE DE DADOS EM PAINEL**

Porto Alegre

2025

Michele Kremer Sott

**A QUALIDADE EDUCACIONAL COMO DETERMINANTE DE CIDADES
INTELIGENTES BRASILEIRAS: UMA ANÁLISE DE DADOS EM PAINEL**

Tese apresentada como requisito parcial para a
obtenção do título de Doutora em Administração
pelo Programa de Pós-Graduação em
Administração da Universidade do Vale do Rio
dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Magnus dos Reis

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Maines da
Silva

Porto Alegre

2025

S718q

Sott, Michele Kremer.

A qualidade educacional como determinante de cidades inteligentes brasileiras : uma análise de dados em painel / Michele Kremer Sott. – 2025.

148 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2025.

“Orientador: Prof. Dr. Magnus dos Reis

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Maines da Silva”

1. Cidades inteligentes. 2. Desenvolvimento urbano. 3. Educação. 4. Políticas públicas. 5. Qualidade educacional. 6. Teoria geral dos sistemas. I. Título.

CDU 658

Michele Kremer Sott

**A QUALIDADE EDUCACIONAL COMO DETERMINANTE DE CIDADES
INTELIGENTES BRASILEIRAS: UMA ANÁLISE DE DADOS EM PAINEL**

Tese apresentada à Universidade do Vale do
Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito
parcial para obtenção do título de Doutora em
Administração.

Aprovado em 28 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Magnus dos Reis (Orientador) – Unisinos

Profa. Dra. Luciana Maines da Silva (Coorientadora) – Unisinos

Profa. Dra. Bibiana Volkmer Martins – Unisinos

Profa. Dra. Izabele Colusso – Unisinos

Prof. Dr. Rodrigo Manoel Dias da Silva – Unisinos

Prof. Dr. Gabrielito Rauter Menezes – Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

AGRADECIMENTOS

Ao falar de educação, não posso deixar de agradecer à CAPES pela bolsa que tornou possível minha jornada no doutorado. Educação não é apenas um investimento em conhecimento, mas um passaporte para sonhos que, de outra forma, seriam inalcançáveis. Foi com o suporte de políticas públicas que percorri o caminho da graduação ao doutorado, sempre amparada por bolsas de estudo em instituições de excelência. Minha trajetória é a prova de que recursos investidos em educação transformam vidas, abrindo portas para que crianças e jovens brasileiros possam conquistar a formação desejada e, acima de tudo, um futuro que antes parecia apenas um sonho distante.

Agradeço ao povo brasileiro que, com seu trabalho árduo, financiou meus estudos, desde os primeiros anos na escola pública até o doutorado. Com gratidão e compromisso, dedico-me a retribuir esse investimento, levando educação e ciência a outros jovens no país.

Agradeço à minha mãe, Senilda Kremer, que, mesmo sem ter tido a oportunidade de estudar, me guiou por esse caminho. Foram tuas as palavras que, desde cedo, semearam em mim o anseio pelo conhecimento.

Ao meu orientador, professor Dr. Magnus dos Reis, pela sabedoria, paciência e incentivo inabalável.

À minha co-orientadora, professora Luciana Maines da Silva, pela orientação cuidadosa e olhar sempre atento ao meu crescimento acadêmico.

Magnus e Lu, vocês tornaram minha jornada de doutoramento mais leve, sem deixar de ser repleta de aprendizado. Desejo que todo estudante tenha a sorte de ter orientadores como vocês e, desejo ainda, me tornar uma professora e pesquisadora tão competente, inspiradora e acima de tudo, humana, quanto cada um de vocês.

Agradeço à professora Dra. Kadígia Faccin, que me orientou durante a primeira etapa do doutorado e que, sabiamente, colocou dois excelentes orientadores no meu caminho. Você carrega o dom de lecionar e orientar e é um dos meus maiores exemplos do meio acadêmico.

À Mariluz Sott, pelo apoio de sempre. Sua presença constante em minha jornada é como a base sólida de uma pesquisa bem-sucedida: firme, confiável e sempre disposta a oferecer suporte nos momentos de desafio. Ter você ao meu lado é um privilégio que transcende qualquer conquista acadêmica.

Agradeço, com todo o meu coração, à minha maior rede de apoio, Kamila Baum, que esteve ao meu lado inabalavelmente nos últimos quatro anos. Sua paciência, compreensão e dedicação tornaram cada desafio mais leve e cada conquista ainda mais significativa. Sem seu apoio incansável, essa jornada teria sido muito mais árdua.

À Helena Baum, pelo amor incondicional que me foi presenteado a cada dia. Teus sorrisos espontâneos são a lembrança de que, mesmo nos dias mais difíceis, há sempre espaço para a leveza.

Agradeço aos professores do PPGAdm, aos membros da secretaria, à banca examinadora, aos colegas e amigos que estiveram comigo e me apoiaram ao longo desta caminhada.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa e para a minha formação.

“Cities have the capability of providing something for everybody, only because, and only when, they are created by everybody.”
— Jane Jacobs

RESUMO

Em países em desenvolvimento como o Brasil, a educação é um dos principais pilares para o progresso socioeconômico, desempenhando um papel fundamental na formação de gestores públicos, na qualificação da população e na redução das desigualdades sociais e educacionais. Investigar como a educação pode impulsionar a inteligência das cidades é essencial para criar ambientes urbanos mais eficientes, sustentáveis e inclusivos. Embora sua importância seja amplamente reconhecida, o impacto da educação de qualidade no desenvolvimento de cidades inteligentes brasileiras ainda é um campo pouco explorado. Neste contexto, a presente pesquisa investiga de que forma a qualidade educacional se relaciona com o desenvolvimento de cidades inteligentes. O estudo emprega a Teoria Geral dos Sistemas para analisar as cidades como sistemas complexos, dinâmicos e multidimensionais, e utiliza um modelo econométrico de dados em painel para testar empiricamente essa relação. O modelo utilizou dados transversais (de 183 cidades) e temporais (de 2015 a 2023) para analisar a relação de variáveis de diferentes dimensões urbanas com o desenvolvimento de cidades inteligentes, tendo como variável dependente a nota do ranking de cidades inteligentes e como variável de interesse a *qualidade educacional*. Para aumentar a robustez e reduzir o viés da análise, foram incluídas variáveis de controle no modelo. Primeiramente, foram utilizadas variáveis de controle derivadas das sete dimensões urbanas previamente identificadas na literatura: ambiente natural, infraestrutura urbana, economia, pessoas, governança, organizações, e tecnologia e inovação. Depois, para mensurar a qualidade educacional foram utilizados oito indicadores de educação como *proxys*, são eles: nota do Enem, média de alunos por turma, média de horas-aula diária, distorção idade-série, taxa de aprovação, taxa de abandono, adequação da formação docente e regularidade do corpo docente. Os resultados mostram que, mesmo criando uma série de painéis e adicionando novas variáveis de controle, a qualidade educacional permanece positiva e significativa para a maior parte dos indicadores de qualidade: um aumento de 1% nas notas do Enem indica um acréscimo de 1,13% nas notas das cidades no ranking; a redução de 1% na taxa de distorção idade-série sugere um aumento de 0,106% nas notas; enquanto o aumento de 1% nas taxas de aprovação escolar pode aumentar em 0,34% as notas das cidades. As variáveis média de alunos por turma e média de horas-aula diária, embora tenham sido significativas nos primeiros modelos, perderam significância conforme novas variáveis foram sendo adicionadas. As variáveis adequação da formação docente e regularidade do corpo docente não foram significativas. No que tange às variáveis associadas às dimensões urbanas, os resultados indicam que o aumento no número de médicos e a redução do número de latrocínios afetam positivamente o desenvolvimento das cidades. Os resultados ressaltam a complexidade da interação entre a educação e o desenvolvimento urbano e indicam que quanto maior a qualidade educacional, melhor a chance da cidade se desenvolver enquanto espaço inteligente. Os achados sugerem, ainda, que políticas públicas bem estruturadas devem abordar de maneira integrada as múltiplas dimensões da qualidade educacional nas estratégias de desenvolvimento urbano. Este estudo contribui com a teoria ao explorar o efeito da qualidade educacional sobre o índice de cidades inteligentes brasileiras. No que tange às contribuições gerenciais, esta pesquisa gerou resultados importantes para a criação de políticas públicas voltadas aos indicadores educacionais. Estudos futuros podem ampliar a análise com um maior número de indicadores educacionais e urbanos. Também sugere-se investigar os efeitos da educação de qualidade no desenvolvimento urbano a longo prazo, especialmente em relação ao impacto de novas políticas públicas no desenvolvimento de cidades inteligentes.

Palavras-chaves: cidades inteligentes; educação; Teoria Geral dos Sistemas; qualidade educacional; desenvolvimento urbano; políticas públicas.

ABSTRACT

In developing countries like Brazil, education is one of the main pillars of socioeconomic progress, playing a fundamental role in training public managers, qualifying the population, and reducing social and educational inequalities. Investigating how education can drive the smartness of cities is essential for creating more efficient, sustainable, and inclusive urban environments. Although its importance is widely recognized, the impact of quality education on the development of Brazilian smart cities is still an underexplored field. In this context, this research investigates how educational quality relates to the development of smart cities. The study employs General Systems Theory to analyze cities as complex, dynamic, and multidimensional systems and uses a panel data econometric model to empirically test this relationship. The model utilizes cross-sectional data (from 183 cities) and temporal data (from 2015 to 2023) to analyze the relationship between variables from different urban dimensions and the development of smart cities, considering the smart city ranking score as the dependent variable and educational quality as the variable of interest. To enhance robustness and reduce bias in the analysis, control variables were included in the model. First, control variables derived from the seven urban dimensions previously identified in the literature were used: natural environment, urban infrastructure, economy, people, governance, organizations, and technology & innovation. Then, to measure educational quality, eight education indicators were used as proxies: Enem score, average number of students per class, average daily class hours, age-grade distortion rate, approval rate, dropout rate, adequacy of teacher training, and regularity of the teaching staff. The results show that even when creating multiple panel models and adding new control variables, educational quality remains positive and significant for most quality indicators: a 1% increase in Enem scores indicates a 1.13% increase in city ranking scores; a 1% reduction in the age-grade distortion rate suggests a 0.106% increase in scores; while a 1% increase in school approval rates can raise city scores by 0.34%. The variables for the average number of students per class and average daily class hours, although significant in the initial models, lost significance as new variables were added. The variables for adequacy of teacher training and regularity of the teaching staff were not significant. Regarding the variables associated with urban dimensions, the results indicate that an increase in the number of doctors and a reduction in robbery-related homicides positively impact city development. The findings highlight the complexity of the interaction between education and urban development and indicate that the higher the educational quality, the greater the chances of a city developing as a smart space. The results also suggest that well-structured public policies should comprehensively address multiple dimensions of educational quality in urban development strategies. This study contributes to theory by exploring the effect of educational quality on the smart city index in Brazil. In terms of managerial contributions, this research provides important results for the creation of public policies focused on educational indicators. Future studies may expand the analysis by incorporating a greater number of educational and urban indicators. It is also suggested to investigate the long-term effects of quality education on urban development, particularly regarding the impact of new public policies on smart cities.

Keywords: smart cities; education; General Systems Theory; educational quality; urban development; public policies.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 TRANSFORMAÇÃO URBANA: CONCEITOS E EVOLUÇÃO TEÓRICA	22
2.1.1 Cidades Inteligentes: escopo e cenário atual	27
2.2 DIMENSÕES DAS CIDADES INTELIGENTES	31
2.3 ABORDAGENS TEÓRICAS QUE ANCORAM A LITERATURA DE CIDADES INTELIGENTES	35
2.3.1 Teoria Geral dos Sistemas.....	37
2.4 CIDADE INTELIGENTE: UM SISTEMA COMPLEXO MULTIDIMENSIONAL..	39
2.4.1 Compreendendo o sistema.....	39
2.4.2 Modelando o sistema	40
2.5 ELEMENTOS DAS CIDADES INTELIGENTES	44
2.5 EDUCAÇÃO EM CIDADES INTELIGENTES	52
2.5.1 Qualidade Educacional	54
3 METODOLOGIA	70
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	70
3.2 MÉTODO.....	70
3.2.1 Modelo Econométrico de Dados em Painel com método de Efeitos Fixos	71
3.2.2 Fonte e Tratamento dos Dados	76
3.2.3 Ranking Connected Smart Cities.....	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	83
4.2 DADOS EM PAINEL	85
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	109
5.1.1 Contribuições teóricas	110
5.1.2 Contribuições educacionais	110

5.1.3 Implicações sociais.....	111
5.1.4 Contribuições gerenciais	112
5.1.5 Contribuições metodológicas	112
5.2 PRINCIPAIS LIMITAÇÕES DA PESQUISA	113
5.3 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS	114
REFERÊNCIAS	117
APÊNDICE A – Lista de cidades	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos principais conceitos relacionados a cidades.....	23
Figura 2 - Temas que se destacam no campo de estudo de cidades inteligentes.....	29
Figura 3 - Ilustração do conceito de cidade inteligente com base na TGS	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais definições de cidades inteligentes encontradas na literatura.....	28
Quadro 2 - Dimensões e elementos das cidades inteligentes	32
Quadro 3 - Principais teorias associadas às cidades inteligentes	35
Quadro 4 - Macrodimensões que norteiam as dimensões e elementos urbanos.....	41
Quadro 5 - Dimensões urbanas e variáveis utilizadas.....	45
Quadro 6 - Dimensões e indicadores subjetivos da qualidade educacional	56
Quadro 7 - Diretrizes para a educação de qualidade	59
Quadro 8 - Variáveis e fontes de dados	79
Quadro 9 - Síntese das hipóteses alternativas	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas	83
Tabela 2 - Painei A	85
Tabela 3 - Painei B	86
Tabela 4 - Painei C	88
Tabela 5 - Painei D	91
Tabela 6 - Painei E.....	95
Tabela 7 - Painei F	97

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

BPC	Benefício de Prestação Continuada
CECAD	Cadastro Centralizado de Atendimentos e Documentos
CFA	Conselho Federal de Administração
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CO ₂	Dióxido de Carbono
CSC	Connected Smart Cities Ranking
Enade	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
Enem	Exame Nacional do Ensino Médio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGM	Índice de Governança Municipal
Inep	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IQM	Índice de Qualidade Mercadológica
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MEC	Ministério da Educação
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
P&D	Pesquisa & Desenvolvimento
PNE	Plano Nacional de Educação
Prouni	Programa Universidade para Todos
R ²	Coeficiente de determinação
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
Saeb	Sistema de Avaliação da Educação Básica
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SISU	Sistema de Seleção Unificada
SSP	Secretaria de Segurança Pública
SUS	Sistema Único de Saúde
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
Unicef	Fundo das Nações Unidas para a Infância

1 INTRODUÇÃO

As cidades não são um fenômeno novo. Civilizações como Mesopotâmia, Vale do Indo e Egito são importantes representações históricas do início do desenvolvimento urbano a mais de cinco mil anos (Nair; Sharma, 2017). Com o advento da industrialização e o êxodo rural, as cidades passaram por diversas transformações para abrigar mais pessoas. Atualmente, embora representem apenas 2% da área geográfica do planeta, as cidades acomodam mais da metade da população mundial (Zhao et al., 2021). De acordo com o Relatório Mundial das Cidades, publicado pelo Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU-Habitat, 2022), em 1950 aproximadamente 30% da população mundial vivia em áreas urbanas. Atualmente, esse percentual é de cerca de 56,2% e deve alcançar 68% até 2050, o que corresponde a 6,5 bilhões de pessoas, ou seja, dois terços da população global. No Brasil, este percentual já ultrapassou 87,4%, o que representa mais de 177,5 milhões de brasileiros vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2022).

No decurso de seu crescimento, as cidades desencadeiam um paradoxo: se por um lado são impulsionadoras do desenvolvimento socioeconômico, por outro lado, enfrentam inúmeros desafios relacionados a desigualdades sociais, desemprego, engarrafamentos, violência e poluição (Yang et al., 2024). Diante de tal antagonismo, muitas cidades, despreparadas para lidar com o crescimento, puseram-se estagnadas enquanto deveriam prosperar, ou ainda, se viram em declínio frente aos desafios oriundos do crescimento geográfico e da densidade populacional (Camboim et al., 2019), como as cidades de Tucson, no Arizona, Detroit nos Estados Unidos e as cidades monoindustriais de Togliatti e Vorkuta na Rússia, com seus inúmeros problemas sociais e ambientais (Gomez-Novy; Polyzoides, 2003; Nair; Sharma, 2017).

O processo de transformação das cidades ao longo do tempo é dinâmico e engloba milhões de indivíduos, governo e organizações, com seus múltiplos fatores políticos, econômicos e culturais (Guo et al., 2024; Hsu et al., 2024). A complexidade das cidades e os desafios de desenvolvimento desencadeiam buscas por políticas públicas eficazes, desenvolvimento tecnológico e inovação (Hartley; Aldag, 2024). No entanto, diversas são as discordâncias entre os atores urbanos no que tange as melhores práticas para o desenvolvimento de cidades prósperas, e inúmeras são as dúvidas sobre como diversificar em novos caminhos transformacionais, medir e avaliar as transformações urbanas (Dhenge; Nimbarte, 2024; Vanli, 2024).

Neste cenário, discussões que emergiram na literatura acadêmica ganharam espaço na prática tentando explicar o dinamismo, a complexidade e a transformação das cidades. Diversos conceitos surgiram associados ao fenômeno, como cidades digitais, cidades resilientes, cidades híbridas, eco-cidades, cidades sustentáveis, cidades educadoras, cidades inteligentes, entre outros (Janik et al., 2020; Essomba et al., 2022). As cidades inteligentes (do inglês *smart cities*) é o conceito mais difundido entre pesquisadores e praticantes (Lai et al., 2020), e se trata, também, do conceito mais amplo, pois é o único que integra as diversas dimensões e elementos urbanos (Al Sharif; Pokharel, 2021; Pangsy-Kania; Kania, 2024). Por estas razões, este conceito foi escolhido para nortear este estudo.

O conceito de cidades inteligentes tem diferentes significados na literatura. Para alguns estudiosos, o conceito está atrelado ao uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) (Hammoumi et al., 2024; Khemakhem; Krichen, 2024) ou ao crescimento econômico sustentável das cidades (Sharifi et al., 2024; Shao; Min, 2025). Para outros, as cidades inteligentes assumem uma denominação mais complexa, que engloba o uso de diferentes estratégias de governança, tecnologia e sustentabilidade, a fim de tornar todas as dimensões urbanas mais inteligentes, tais como economia inteligente, governança inteligente, capital humano inteligente e infraestrutura inteligente (Adenekan et al., 2024; Behdadfar; Samaei, 2024; Estevez; Pardo, 2021). É nesta abordagem mais ampla e integrativa que esta pesquisa se ancora, entendendo as cidades como sistemas complexos com múltiplas dimensões que se inter-relacionam e geram intercâmbios com seu entorno.

Para analisar as cidades sob a ótica de um sistema multidimensional, este trabalho ancorou-se na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) (von Bertalanffy, 1975), que possibilita enxergar as cidades com um sistema composto por subsistemas interconectados que se inter-relacionam e retroalimentam. Assim, ao utilizar uma abordagem de sistemas, as cidades são analisadas por meio de suas dimensões (subsistemas), considerando suas interações e processos para o desempenho da cidade como um todo (sistema) (Meerow et al., 2016; Kim; Yang, 2023; Subkhan et al., 2024).

Estudos prévios utilizaram a TGS para analisar as variáveis que constituem o espaço urbano e a forma como elas afetam o funcionamento global da cidade, promovendo um entendimento holístico e integrado do desenvolvimento urbano. Neste sentido, Kirwan e Dobrev (2022) defendem que é necessária uma convergência total entre as dimensões urbanas para que as cidades se tornem sistemas inteligentes e autorregulados que coexistem com o ambiente natural. Ependi, Rochime e Wibowo (2023) utilizaram a TGS para analisar indicadores das dimensões social, econômica e ambiental das cidades. De acordo com os

autores, a TGS possibilita a análise e incorporação de diferentes elementos dos intrincados sistemas urbanos e considera suas inter-relações. Para Vogeley e Ryder (2023), a TGS facilita a compreensão do funcionamento do sistema urbano por meio da análise de suas partes e subsistemas. Assim, este estudo vai ao encontro da literatura ao fazer uso da TGS para analisar os elementos que constituem os espaços urbanos e suas relações, em maior profundidade a relação da qualidade educacional com o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Com o estopim do conceito de cidades inteligentes, governos, gestores públicos e pesquisadores passaram a categorizar determinadas cidades por meio de índices de inteligência urbana, a exemplo de Singapura, Londres, Barcelona, Medellín e Curitiba (Shamsuzzoha et al., 2021; Bibri; Krogstie, 2024; Smith et al., 2022; Hojda et al., 2019). Neste estudo, utilizou-se o ranking Connected Smart Cities como indicador da inteligência das cidades brasileiras. A escolha desse ranking justifica-se por sua abrangência, pelo número expressivo de municípios avaliados e, sobretudo, pela variedade de variáveis consideradas em sua metodologia. Assim, o ranking foi adotado como parâmetro para mensurar a inteligência urbana no contexto nacional. Contudo, este estudo reconhece as limitações inerentes ao índice, especialmente no que diz respeito à sua capacidade de capturar as múltiplas camadas que compõem o espaço urbano e influenciam as dimensões socioeconômicas das cidades.

Para além da capacidade dos rankings e índices de medir a inteligência urbana, as cidades inteligentes também são constituídas pela capacidade de responder a desafios locais, pela qualidade de suas instituições públicas, e por fatores como governança participativa e inclusiva, resiliência, inovação social e cultural, equidade e justiça social (Alizadeh; Sharifi, 2023). Essa perspectiva é especialmente relevante no contexto brasileiro, onde as cidades são profundamente marcadas por desigualdades históricas, territoriais e sociais, que se manifestam de diversas formas e são atravessadas por questões estruturais relacionadas à raça, gênero e classe.

Neste sentido, existem muitas divergências sobre o que torna uma cidade mais inteligente que outra (Sadowski; Bendor, 2019), e cada ferramenta de avaliação de inteligência urbana parece se ancorar em diferentes indicadores, como tecnologia, sustentabilidade ou questões sociais, para medir seu grau de inteligência. Com isso em mente, cada vez mais torna-se necessário entender as dimensões e os elementos que formam as cidades para melhor compreender sua complexidade (González-García et al., 2021; Lee; Kang; Kim, 2024) e identificar a soma dos recursos técnicos e processos socioeconômicos que possibilitam o desenvolvimento, a sustentabilidade e a inteligência dos ambientes urbanos (Shao; Min, 2025).

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a educação se destaca como um dos principais recursos para o desenvolvimento socioeconômico (Queiroz et al., 2020; Heringer, 2024). Apesar de sua relevância, o papel da educação ainda é insuficientemente explorado no que diz respeito ao seu impacto sobre a inteligência das cidades brasileiras. A maioria dos rankings de inteligência urbana atuais têm seu foco sobre outros elementos urbanos, como economia, meio ambiente e tecnologias (Vanli et al., 2024) e, em menor escala, incluem dados de educação (Toh, 2022).

No entanto, é imprescindível discutir o potencial da educação de influenciar diferentes dimensões urbanas de diferentes formas, seja por meio da formação de gestores públicos, da capacitação da população e da redução das desigualdades socioeducacionais, quanto a partir dos resultados destas ações no desenvolvimento de cidades mais justas, inclusivas, sustentáveis e resilientes (Molnar, 2021). Quando uma cidade é orientada pela educação, além do desenvolvimento socioeconômico, a cidade garante subsídios para desenvolver a governança colaborativa, a participação cidadã (Waghmare, 2024), a inovação e a criatividade (Han, 2024), o desenvolvimento de habilidades e competências (Panagiotakopoulos et al., 2024), a inclusão digital (Colding; Nilsson; Sjöberg, 2024), o desenvolvimento sustentável (Sharifi et al., 2024) e melhores condições de vida aos cidadãos urbanos (Wolniak; Jonek-Kowska, 2021). É precisamente neste contexto que esta pesquisa visa contribuir, entendendo a qualidade educacional como um pilar para a construção de cidades inteligentes. É a partir deste entendimento que políticas públicas podem ser adaptadas para transformar o sistema educacional brasileiro e criar oportunidades de aprendizagem acessíveis e inclusivas para todos.

Neste contexto, se destaca o conceito de qualidade educacional¹, que representa a eficácia e a equidade do processo de ensino-aprendizagem (Oliveira; Santos, 2007). No sistema educacional brasileiro, ainda não há consenso sobre a melhor forma para medir a qualidade educacional, sendo na maioria das vezes medida por meio de indicadores que podem ser categorizados em características individuais dos alunos, da escola e da família (Soares, 2004). A qualidade educacional determina se os alunos estão adquirindo as habilidades e conhecimentos necessários para seu desenvolvimento pessoal e profissional, além de formar cidadãos que contribuam com o desenvolvimento social e econômico do país (Inep, 2006). No contexto das cidades inteligentes, a qualidade educacional tem um impacto direto no

¹ O conceito de qualidade educacional está em construção no Brasil. Órgãos como o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef) tem avançado em pesquisas sobre a qualidade da educação e, principalmente, sobre quais os indicadores que podem ser utilizados para medir a qualidade educacional.

desenvolvimento de competências que favorecem a inovação, a sustentabilidade e a eficiência dos processos urbanos, além de contribuir para a redução das desigualdades sociais e promover a inclusão (Molnar, 2021). Assim, sob a ótica da TGS, a educação de qualidade deve ser vista como um dos elementos que alavancam o desenvolvimento holístico do espaço urbano, e como um elemento do sistema maior que é a cidade inteligente.

O número limitado de pesquisas nesta área (Maciel et al., 2024; Scott, 2021) indica a necessidade de estudos que analisem em maior profundidade a influência da qualidade educacional no desenvolvimento de cidades inteligentes, a fim de que tais resultados auxiliem na construção de políticas públicas que integrem novas realidades e necessidades dos espaços urbanos. Neste sentido, espera-se contribuir com a literatura por meio de um trabalho precursor que aborda a relação entre qualidade educacional e cidades inteligentes brasileiras. Este estudo considera as relações entre as dimensões urbanas a partir da lente da TGS, para identificar as determinantes de uma cidade inteligente, com foco na qualidade educacional. As determinantes são os fatores ou elementos que influenciam ou causam determinado resultado ou efeito. Em diversos contextos, como nas ciências sociais aplicadas ou em estudos urbanos, as determinantes são as variáveis ou condições que afetam diretamente o desenvolvimento ou a situação de um fenômeno (Batrancea; Rathnaswamy; Batrancea, 2022). No presente estudo, a qualidade educacional representa a variável de interesse, buscando compreender qual sua influência no desenvolvimento de cidades inteligentes (variável dependente). Para isso, este trabalho parte da seguinte questão de pesquisa: De que forma a qualidade educacional se relaciona com o desenvolvimento de cidades inteligentes?

Com o objetivo de responder à questão de pesquisa proposta, este estudo desdobra-se em duas partes, sendo que a primeira (i) consiste em um robusto referencial teórico sobre cidades inteligentes, educação e Teoria Geral dos Sistemas. A primeira parte do referencial versa sobre cidades inteligentes, com o propósito de compreender a amplitude do conceito e suas múltiplas dimensões. A segunda parte apresenta a Teoria Geral dos Sistemas e a relaciona com as cidades inteligentes, analisando os espaços urbanos como sistemas complexos, dinâmicos e multidimensionais compostos pelas dimensões urbanas apresentadas na primeira parte do quadro teórico. A terceira parte do referencial desdobra-se sobre a educação no Brasil, com foco na qualidade educacional e seu papel no desenvolvimento de cidades inteligentes.

A segunda (ii) parte desta pesquisa consiste em um Modelo Econométrico de Dados em Painel executado em duas etapas. Na primeira etapa, foram utilizados dados transversais e temporais para analisar a relação de variáveis de diferentes dimensões urbanas (exemplo:

economia, governança, entre outras) com o desenvolvimento de cidades inteligentes, tendo como variável de interesse a *qualidade educacional*. Na segunda etapa, após identificar as variáveis associadas às dimensões urbanas que afetam o desenvolvimento das cidades, foram incluídas novas variáveis que representam indicadores da qualidade educacional (exemplo: média de alunos por turma, taxa de aprovação, entre outras), a fim de identificar quais indicadores de qualidade educacional afetam o desenvolvimento de cidades inteligentes. A seguir, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo geral: Identificar os determinantes de uma cidade inteligente, com foco na relação da qualidade educacional com o desenvolvimento das cidades inteligentes brasileiras.

Para isso, este objetivo geral é desdobrado em quatro objetivos específicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- i) Identificar as dimensões do espaço urbano que constituem uma cidade inteligente.
- ii) Relacionar teoricamente a qualidade educacional com o desenvolvimento de cidades inteligentes.
- iii) Analisar a influência da qualidade educacional na nota do ranking de cidades inteligentes.
- iv) Determinar quais indicadores de qualidade educacional afetam o desenvolvimento de cidades inteligentes.

1.2 JUSTIFICATIVA

A educação em cidades inteligentes é um tema que ainda carece de investigações robustas e aprofundadas (Damar, 2024). Embora o número de estudos sobre cidades inteligentes tenha crescido, a pesquisa sobre o papel da educação nesse contexto permanece limitada. De um universo de mais de 28.000 documentos sobre cidades inteligentes disponíveis na Web of Science, Scala et al. (2024) localizaram apenas 378 que discutiam a educação em cidades inteligentes, e apenas 13 eram da área de Gestão e Negócios. Ao reproduzir a busca de Scala et al. (2024) em 19 de Janeiro de 2025, foram encontrados 455 documentos, sendo 17 relacionados

à área de Administração Pública e 33 associados à área de Estudos Econômicos. A maioria dos estudos existentes são relacionados a áreas técnicas como Engenharia (90) e Ciência da Computação (82) e exploram, principalmente, o desenvolvimento de tecnologias como Internet das Coisas e Big Data em contextos educacionais (Sethi et al., 2024; Ferreira et al., 2024). Dos estudos identificados, apenas 5 mencionam a qualidade educacional, e são citados ao longo do referencial teórico deste estudo.

Na literatura acadêmica as pesquisas abordam, sobretudo, o papel da educação na capacitação de gestores de cidades inteligentes (David; McNutt, 2024), e na educação de estudantes do ensino básico (Vicente et al., 2020), do ensino superior (Kasch et al., 2023), e da pós-graduação (Maruna, 2019), buscando torná-los mais habilitados para pensarem e criarem cidades do futuro mais inteligentes, sustentáveis e inclusivas. Entende-se, portanto, a necessidade de avançar no campo teórico, promovendo a expansão das discussões sobre qualidade educacional em cidades inteligentes. Este estudo contribui precisamente com esta lacuna ao explorar o efeito da qualidade educacional sobre o índice de cidades inteligentes brasileiras.

Outrossim, se a qualidade educacional promove melhores índices de cidades inteligentes (Panagiotakopoulos et al., 2024), espera-se que também possa melhorar a alfabetização digital entre segmentos da população, gerar educação multicultural e distribuir recursos de forma justa entre as áreas urbanas e áreas rurais (Molnar, 2021). Himdi (2023), defende que as pesquisas sobre educação em cidades inteligentes podem fornecer subsídios para modelos educacionais integrados ao contexto urbano, contemplando as competências exigidas pelas cidades inteligentes.

Assim, a justificativa deste trabalho repousa na necessidade de reconhecer a qualidade educacional como um pilar essencial para a cidadania ativa e para a construção de cidades inteligentes, pois influencia diretamente na governança, na inovação e na sustentabilidade (Welsh, 2021). Esse reconhecimento permite adaptar e transformar o sistema educacional de acordo com as necessidades das cidades e de seus habitantes, permitindo a criação de políticas públicas mais eficazes, que sejam voltadas para a inclusão e permanência escolar, formação contínua e valorização da carreira docente, combate à criminalidade e criação de ambientes seguros para a educação e a adoção de soluções tecnológicas e inovadoras para a gestão educacional. Isso é especialmente válido se considerarmos que as cidades inteligentes têm potencial de transformar a forma como a educação é oferecida, criando oportunidades para uma aprendizagem mais personalizada, acessível e inclusiva (Jones et al., 2024).

Ademais, a implementação efetiva de políticas públicas em cidades inteligentes depende de uma população educada, que compreenda e participe ativamente dos processos de governança, segurança e sustentabilidade (Razmjoo et al., 2021; Zait et al., 2017). Quando a educação é de qualidade, ela permite o desenvolvimento de habilidades técnicas e sociais, criando uma sociedade mais inclusiva, crítica e colaborativa. Portanto, investir em qualidade educacional é alocar esforços diretamente no futuro das cidades, pois ela molda as competências profissionais necessárias para o desenvolvimento urbano e a capacidade dos cidadãos de interagir de maneira produtiva e ética com as tecnologias que estão remodelando o ambiente urbano (Jaskiewicz et al., 2019; Sunley et al., 2020). No entanto, para que essa transformação aconteça, é essencial investigar suas relações com o contexto educacional (Molnar, 2021).

Em um ambiente em que se busca melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, a educação desempenha um papel central na transformação socioeconômica (Mazza, 2021). O conceito de cidades inteligentes vai além da implementação de infraestrutura tecnológica, englobando também a criação de ambientes urbanos que favoreçam o bem-estar e o desenvolvimento humano (Zhu; Shen; Ren, 2022). Neste cenário, a qualidade educacional é fundamental para garantir que as cidades inteligentes se tornem mais inclusivas, justas e eficientes (Mazza, 2021). Ela capacita os cidadãos para participarem plenamente do processo de transformação urbana, reduzindo desigualdades, promovendo a sustentabilidade e criando um ambiente mais cooperativo e inovador para o desenvolvimento social e econômico das cidades (Batabyal et al., 2019). Assim, os gestores urbanos podem fazer uso de estratégias atreladas à educação para melhorar outros aspectos da vida urbana, integrando os cidadãos nos processos de governança participativa e criando comunidades ativas. À vista disso, a escolha deste tema também se justifica pela sua importância para o crescimento e desenvolvimento econômico e humano, estando diretamente relacionado às decisões da administração pública.

Cabe salientar que, ao analisar as diferentes dimensões urbanas, esta pesquisa identifica se determinadas variáveis, como segurança ou saúde, geram menor ou maior influência sobre o desenvolvimento de cidades inteligentes. Esta análise é importante para compreender como outros fatores podem acentuar ou amenizar a influência da variável *qualidade educacional* no desenvolvimento urbano. Isso é especialmente válido porque em uma cidade, muitas vezes, as desigualdades sociais e econômicas são acentuadas para aqueles que não têm acesso à educação de qualidade (Molnar, 2021).

A falta de formação adequada pode limitar a capacidade de determinados grupos da população de usufruir das oportunidades oferecidas pela cidade, como emprego qualificado,

acesso à saúde digitalizada ou participação em decisões públicas mediadas por tecnologia (Michelucci et al., 2016). Assim, este trabalho contribui com o campo de estudo ao apresentar uma análise empírica que pode auxiliar na criação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de cidades inteligentes a partir da qualidade educacional.

Destaca-se ainda, que este estudo utiliza a lente teórica da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) para investigar as dimensões e elementos urbanos. Com isso, os resultados avançam a teoria no que tange a identificação das partes do sistema urbano, e evidenciam empiricamente suas relações, comprovando a existência de efeitos de uma variável urbana sobre outra.

Por fim, o uso do Modelo Econométrico de Dados em Painel permitiu a combinação de dados temporais e transversais de determinadas entidades – cidades. Até o momento, não foram identificados estudos que utilizaram dados em painel para analisar a relação entre qualidade educacional e cidades inteligentes, evidenciando a originalidade da abordagem metodológica desta pesquisa. Além disso, o método econométrico empregado ainda foi pouco explorado no campo de cidades inteligentes, e este estudo evidencia o potencial metodológico para análises empíricas sobre o tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a construção e a discussão do referencial teórico, incluindo os tópicos de cidades inteligentes e educação, com foco na qualidade educacional. Também é apresentada a Teoria Geral dos Sistemas e relacionada com as cidades inteligentes. Este capítulo tem como objetivo construir a base teórica da pesquisa e fornecer o embasamento necessário no que tange aos principais conceitos do campo de estudo para dar apoio ao desenvolvimento das regressões do modelo de dados em painel.

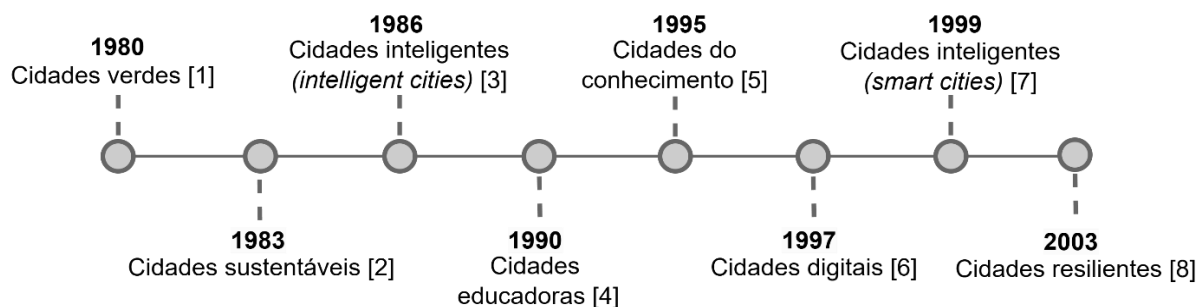
2.1 TRANSFORMAÇÃO URBANA: CONCEITOS E EVOLUÇÃO TEÓRICA

Ao longo do tempo, as diversas transformações urbanas e os desafios relacionados ao crescimento das cidades despertaram o interesse de pesquisadores de diferentes partes do mundo e áreas de conhecimento, como gestão (Grossi; Welinder, 2024), arquitetura e planejamento urbano (Blazy; Blazy; Drobiec, 2022; Charitonidou, 2024), economia (Abutabenjeh et al., 2022; Abu-Rayash; Dincer, 2025), empreendedorismo (Mitra et al., 2022), tecnologia (Herath; Mittal, 2022; Whig et al., 2024), entre outras. Na literatura, muitas discussões surgiram, principalmente sobre a relação das cidades com a tecnologia (Cepero; Montané-Jiménez; Maestre-Góngora, 2025), e a busca pelo desenvolvimento sustentável e pela resiliência das cidades (Okonta; Vukovic, 2024). Neste sentido, compreender a evolução do campo de estudo é imprescindível para entender o conceito de cidades inteligentes e sua importância, principalmente no que tange ao seu potencial para lidar com os desafios urbanos (Park; Yoo, 2023).

Engel et al. (2018) discutem alguns dos desafios enfrentados pelas cidades atuais: a criação de centros urbanos capazes de capacitar e manter talentos; de desenvolver e fazer uso de recursos tecnológicos em prol da sociedade e da sustentabilidade; e de criar e manter um ambiente justo e equitativo, capaz de assegurar dignidade, igualdade e qualidade de vida para a geração atual e para as futuras. A práxis das cidades inteligentes, no entanto, não é uma tarefa fácil, uma vez que este novo paradigma nasceu ancorado na criação de valor e na busca por sustentabilidade, conectividade, acessibilidade, mobilidade, colaboração, inclusão e diversidade, que devem fomentar o desenvolvimento de novas indústrias e tecnologias, novos modelos de negócios e relações de mercado, e uma nova sociedade (Camboim et al., 2019; Colding; Nilsson; Sjöberg, 2024).

Nos últimos anos, em tentativas de explicar e alcançar os objetivos das cidades, surgiram inúmeros conceitos associados ao desenvolvimento urbano. A Figura 1 mostra uma linha temporal dos principais conceitos associados às cidades. Outros conceitos como cidades híbridas (Janik et al., 2020) e cidades policêntricas (Zhang et al., 2022) aparecem em menor escala na literatura e não são abordadas neste estudo.

Figura 1 - Evolução dos principais conceitos relacionados a cidades



Fonte: Elaborado pela autora (2025) com base em [1] Johnson (1980); [2] Cadman (1983); [3] Lipman et al. (1986); [4] Morell; Fernando (1990); [5] Ihlanfeldt (1995) e Knight (1995); [6] Tan (1999); [7] Mahizhnan (1999) e Neville (1999); e [8] Godschalk (2003).

Em 1976, Johnson iniciou uma pesquisa para construir sistemas integrados de transporte, preocupando-se com a sustentabilidade e restauração de áreas degradadas das paisagens urbanas (Johnson, 1980). Assim surgiu o conceito de ‘cidades verdes’ em 1980, que marcou espaço nas agendas de pesquisadores e gestores urbanos tornando-se um meio paliativo para a selva de concreto, uma vez que o crescimento econômico das cidades e a justiça ambiental frequentemente eram tratados como temas aversivos (Johnson, 1984). De acordo com Campbell (1996), a importância deste conceito urge na predisposição inata de proteger o natural, haja visto que historicamente cidades são construídas à custa da destruição ambiental, o que inclui o desmatamento de florestas, a poluição do ar e de rios, e todas as suas consequências que, por sua vez, incluem a transformação geográfica e a extinção de espécies.

Para além das cidades verdes, surgiu em 1983 o conceito de ‘cidades sustentáveis’ (Cadman, 1983; Roberts; Hunter, 1991), discutindo o desenvolvimento sustentável como um fator determinante para o desenvolvimento urbano. Ações ambientais, econômicas e sociais passaram a ser discutidas por meio de novos caminhos para o gerenciamento de tráfego, uso eficiente da terra, eficiência e conservação energética, redução e reciclagem de resíduos, entre outras ações para o desenvolvimento de comunidades e cidades ecologicamente sustentáveis e conscientes (Roseland, 1991).

As cidades sustentáveis têm sua progênie na ecologia e se preocupam com os diferentes impactos do crescimento das cidades na vida dos seres vivos, apresentando forte viés para o pilar social e democrático, enquanto as cidades verdes focam no pilar ambiental (Chiesura, 2004). Além das cidades verdes e sustentáveis, outros conceitos correlatos surgiram para discutir e explicar a necessidade e o compromisso com a sustentabilidade nas áreas urbanas, como eco-cidades e urbanização sustentável (Janik et al., 2020).

Em outra vertente de pesquisa, Lipman et al. (1986) discutiram sofisticadas infraestruturas de telecomunicações para a criação de ‘cidades inteligentes’ (do inglês *intelligent cities*). Mais tarde, as TICs foram incorporadas à economia digital por meio de um projeto lançado em Singapura em 1997, que integrava a rede nacional de banda larga a toda a *hub* de comércio eletrônico com serviços empresariais e governamentais ininterruptos para todas as casas, escolas e escritórios da cidade (Tan, 1999).

Entendendo que tanto o avanço digital quanto a sustentabilidade das cidades podem ser alcançados com conhecimento e inovação, uma vertente da literatura passou a estudar, na década de 90, a criação de conhecimento nas cidades. Desta vertente surgiram conceitos como cidades do conhecimento (Ihlanfeldt, 1995; Knight, 1995), cidades de sabedoria, cidades cognitivas, cidades criativas, cidades de aprendizado, cidades sensatas (Martino et al., 2010; Rajabi et al., 2022) e cidades educadoras (Essomba et al., 2022). Ao se preocupar com a criação e difusão de conhecimento, estas cidades valorizam dados, informações e conhecimentos produzidos e disponíveis no ambiente onde se situam. Nas cidades do conhecimento são desenvolvidas e fomentadas políticas e ações em prol de instituições culturais, empresas locais, redes comunitárias, bairros inovadores e parques tecnológicos (Franz et al., 2024), além de estimular as interações entre diferentes atores locais, como instituições de ensino, governo, sociedade civil organizada, organizações privadas e não governamentais (Mehrabani, 2024).

Na mesma época surgiu o conceito de cidade educadora (Essomba et al., 2022). Uma cidade educadora integra a educação como princípio central de seu desenvolvimento, promovendo o aprendizado ao longo da vida nas dimensões social, cultural e econômica (Morell; Fernando, 1990). A cidade se compromete a oferecer oportunidades educativas formais e informais, valorizando a inclusão, a equidade e a participação cidadã. Por meio de políticas públicas, infraestruturas e programas inovadores, as cidades educadoras visam formar cidadãos mais conscientes, críticos e preparados para os desafios contemporâneos, contribuindo para um desenvolvimento urbano sustentável e integrado (Mesías-Lema, 2024). No entanto, enquanto uma cidade educadora prioriza a promoção do aprendizado ao longo da vida e a formação cidadã, as cidades inteligentes possuem uma abordagem mais ampla, integrando

tecnologia, inovação e gestão inteligente em diversas áreas, como mobilidade urbana, energia, saúde, segurança e sustentabilidade (Ghazinoory et al., 2024).

Por volta de 1997, a forte relação das cidades com a tecnologia levou ao surgimento do conceito ‘cidades digitais’ (Tan, 1999; Rezende; Almeida; Fumagalli, 2024; Gao et al., 2024). Desde então, a infraestrutura digital se tornou tão importante quanto as redes de energia, água e esgoto que atravessam as cidades modernas. Outros termos, com características parecidas ao conceito de cidades digitais ou tendo a tecnologia como premissa básica podem ser encontrados na literatura, como cidades em rede, cidades virtuais, cidades onipresentes, cidades em tempo real, *cyber* cidades, cidades como plataforma ou cidades híbridas (Janik et al., 2020). No entanto, inicialmente tais infraestruturas digitais mostraram-se insuficientes para atender todas as necessidades da população urbana, pois não atuavam como corretoras dos desequilíbrios regionais, uma vez que eram apenas para pontos nodais de informação e comunicação (Cheung, 1991). A partir deste entendimento, novas lentes passaram a ser usadas para entender, e até mesmo nortear, o desenvolvimento das cidades, avançando as pesquisas do campo de estudo (Zhao; Yang; Sun, 2024).

Alguns anos mais tarde surgiu o conceito de ‘cidades resilientes’ (Godschalk, 2003). Em uma cidade, a resiliência ocorre por meio da construção de uma rede de sistemas físicos (componentes estruturais) e da comunidade (componentes sociais e institucionais) que quando integrados devem facilitar a tomada de decisão rápida e assertiva em casos de urgências e desastres. Para garantir um alto nível de resiliência, os elementos da cidade precisam ser redundantes e com funcionalidades diversas, eficientes, autônomas, resistentes, interdependentes, adaptáveis e colaborativas (Godschalk, 2003). A resiliência urbana é fundamental para que, uma vez alcançados os objetivos de sustentabilidade, desenvolvimento econômico e qualidade de vida, estes sejam mantidos ao longo do espaço-tempo e através das constantes transformações urbanas (DesRoches; Taylor, 2018; Karthikeyan, 2025).

Embora as primeiras pesquisas no campo de estudo tenham se dedicado, predominantemente, a estudar a transformação das cidades e encontrar meios de torná-las mais inteligentes (Batty et al., 2012), ao longo do tempo a resiliência passou a ser integrada na inteligência urbana juntamente com outros objetivos, como sustentabilidade e digitalização (Gkontzis et al., 2024). Ao passo em que o tema atinge maturidade e a inteligência urbana aumenta, a resiliência também se amplia, buscando meios de fazer com que as cidades inteligentes sejam capazes de manter sua inteligência ao longo do tempo (Yao; Wang, 2020; Noori et al., 2025).

Cada um dos conceitos relacionados às cidades foca em diferentes elementos e dimensões que formam as cidades, e são norteados por diferentes abordagens teóricas (Janik et al., 2020). O conceito de ‘cidade inteligente’ (do inglês *smart city*) (Neville, 1999), mostra-se o mais amplo e abrangente de todos os conceitos, perpassando as dimensões que dão forma às cidades e sendo atravessado por diferentes correntes teóricas. Ao entender os principais conceitos relacionados às cidades percebe-se que, ao longo do tempo, a preocupação com o desenvolvimento dos espaços urbanos foi ganhando novos olhares e, consequentemente, sendo ampliado (Ghazinoory et al., 2024).

O objeto de análise deste estudo, as ‘cidades inteligentes’, possui uma literatura vasta, diversa e, por vezes, contraditória. Para Benevolo et al. (2015) as cidades inteligentes são uma visão complexa, de longo prazo, para melhorar determinada área urbana por meio da redução da pegada ambiental e melhora da qualidade de vida dos cidadãos. Nam e Pardo (2011), por outro lado, conceituam as cidades inteligentes a partir de três dimensões: tecnologias, pessoas e instituições; enquanto para Shafik et al. (2024), as cidades abrangem todo o ecossistema humano por meio de benefícios sociais, crescimento econômico, desenvolvimento tecnológico e inovação. Assim, existem variadas abordagens e iniciativas de cidades inteligentes com diferentes níveis de maturidade e diversos conceitos que se estendem por diversas áreas do conhecimento, como negócios, ciências ambientais, estudos urbanos e tecnologia, com o objetivo geral de desenvolver e transformar cidades.

Em sua amplitude, o conceito de cidades inteligentes surgiu com o intuito de integrar cada um dos pilares fundamentais dos conceitos previamente citados. Busca-se, então, desenvolver a proteção ambiental e o desenvolvimento econômico, ao mesmo tempo que fomenta a interação entre os diferentes atores urbanos. A tecnologia torna-se um meio para alcançar o desenvolvimento sustentável, a criação e o compartilhamento de conhecimento e a qualidade de vida dos cidadãos (Barbieri; Coluccia; Natale, 2025; Adenekan; Ezeigweneme; Chukwurah, 2024). É devido a amplitude do conceito de cidades inteligentes e seu potencial de abranger as diversas dimensões urbanas, que este conceito foi escolhido para nortear a presente pesquisa.

Assim, a complexidade e a amplitude do conceito de cidades inteligentes atestam sua importância, e a literatura evidencia que, embora muito esforço de pesquisa esteja sendo dedicado para compreender o tema, mais estudos são necessários para auxiliar na compreensão de suas dimensões e respectivos impactos no desenvolvimento urbano (Ghazinoory et al., 2024). Com esta preocupação em mente, este estudo debruça-se sobre o conceito e explora as cidades inteligentes como um sistema complexo multidimensional sob a ótica da Teoria Geral

dos Sistemas, analisando a relação de variáveis de diferentes dimensões urbanas com o índice de cidades inteligentes, tomando como variável de interesse a qualidade educacional.

2.1.1 Cidades Inteligentes: escopo e cenário atual

Sem desacreditar o potencial das cidades sustentáveis, resilientes, digitais e do conhecimento, a qualidade de vida dos cidadãos urbanos parece depender da sinergia entre todos estes conceitos. Tomando as cidades sustentáveis como exemplo, pouco se sabe sobre seu potencial de impactar comunidades e táxons de uma cidade, principalmente no que tange ao planejamento urbano para a construção de espaços que possibilitem – não apenas atenuem – a restauração da biodiversidade (Lepczyk et al., 2017).

Embora a definição de cidade inteligente pareça simples, as discussões sobre a inteligência das cidades alcançam um nível mais profundo. Afinal, indo ao encontro do pensamento de Engel et al. (2018), como criar, ou ainda, reproduzir uma cidade inteligente? Como desenvolver uma cidade digitalmente integrada e sustentável? Para além, como torná-las resilientes ao longo dos anos para que se perpetuem ao mesmo tempo em que são mutáveis?

As cidades inteligentes são ancoradas por tecnologias, governança, organizações e políticas que interagem entre si, inovam, desenvolvem processos econômicos e infraestruturas que se distinguem entre diferentes regiões e países (Abu-Rayash; Dincer, 2025). Por muitos anos, a maior parte dos esforços de pesquisadores foram dedicados a analisar possíveis casos de sucesso em países desenvolvidos, a exemplos de Singapura, Hong Kong e Barcelona (Bakıcı et al., 2013; Gascó-Hernandez, 2018; Kit, 2022). Recentemente, algumas cidades como Medellín na Colômbia (Camargo et al., 2021; Bashiir, 2024), Curitiba no Brasil (Sancino; Hudson, 2020; Macke et al., 2018) e Pune na Índia (Prasad; Alizadeh; Dowling, 2024) tornaram-se exemplos de cidades em países em desenvolvimento que aparecem na literatura por destacarem-se em nível de inteligência.

Para entender a importância do conceito de cidade inteligente, é necessário dar um passo atrás e verificar que, quando um espaço urbano se constrói e se desenvolve, em determinado momento ele passa a alcançar níveis ótimos de crescimento econômico, facilidade de transporte, logística, acesso a saúde e educação, lazer, segurança e a infraestrutura necessária para melhorar a qualidade de vida de seus cidadãos (Camboim et al., 2019; Sott; Silva; Faccin, 2023). Após este ponto ótimo, a qualidade de vida de seus habitantes passa a ser prejudicada por problemas como: poluição ambiental, tráfego e congestionamento, desigualdades sociais, desemprego, doenças e violência. Estes fatores fazem com que as cidades percam rapidamente

seus ganhos de densidade e proximidade geográfica, prejudicando a qualidade de vida de seus habitantes (Li; Rigby, 2023; Abay; Akgüngör, 2024).

É com este problema em mente que o conceito de cidades inteligentes é fomentado na literatura, podendo ir além dos demais conceitos, ou ainda, ser uma mescla de todos os anteriores, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida humana ao passo que protege o planeta (Colding; Nilsson; Sjöberg, 2024). Assim, quando uma cidade é inteligente, seu crescimento é promissor, gerando renda, facilidade de transporte e logística e acesso a saúde e educação, para além da quebra do ponto ótimo. O Quadro 1 foi criado para mostrar uma parte da diversidade de definições de cidades inteligentes encontradas na literatura. As citações apresentadas foram retiradas de artigos que apresentam uma definição clara do conceito e estão entre os mais citados da Web of Science.

Quadro 1 - Principais definições de cidades inteligentes encontradas na literatura

Definição	Autor(es)
"[...] as cidades inteligentes progressivas devem começar com as pessoas e o lado do capital humano da equação, em vez de acreditar cegamente que a própria TI pode transformar e melhorar as cidades".	Hollands (2020)
"Tais cidades são 'mais inteligentes' na exploração das tecnologias de informação e comunicação e não são apenas criativas ou inteligentes na geração de capital intelectual e na criação de riqueza, mas também na seleção de ambientes que regem a sua produção de conhecimento, tornando-as partes integrantes de sistemas de inovação emergentes".	Leydesdorff; Deakin (2011)
"Governança inteligente (relacionada com a participação); capital humano inteligente (relacionado com as pessoas); ambiente inteligente (relacionado com os recursos naturais); vida inteligente (relacionada com a qualidade de vida); e economia inteligente (relacionada com a competitividade)."	Lombardi et al. (2012)
"[...] uma cidade é inteligente quando os investimentos em capital humano e social e em infraestruturas de comunicação tradicionais (transportes) e modernas (TICs) alimentam o crescimento econômico sustentável e uma elevada qualidade de vida, com uma gestão sensata dos recursos naturais, através de uma governança participativa".	Caragliu et al. (2013)
"O conceito de cidade inteligente vai além do foco dos vendedores de TIC na digitalização, e também leva em consideração alguns dos aspectos relacionados com componentes que têm importância crucial no desenvolvimento urbano, social e econômico de uma cidade, tais como o capital humano."	Neirotti et al. (2014)
"O conceito de cidade inteligente já não se limita à difusão das TIC, mas olha para as pessoas e para as necessidades da comunidade. As pessoas são os protagonistas de uma cidade inteligente, que a moldam através de interações contínuas, e a comunidade de uma cidade inteligente precisa sentir o desejo de participar e de promover um crescimento (inteligente)."	Albino et al. (2015)
"O conceito de 'cidade inteligente' também é relativamente novo em sua origem, embora decorra ou possa pelo menos ser visto como um sucessor mais avançado para a antiga 'cidade da informação', 'cidade digital' e as categorias de 'cidade inteligente' [...] As definições mais recentes são mais amplas. Considerando uma aparente semelhança com a categoria "cidade do conhecimento", a 'cidade inteligente' é vista como a direção desejável para o desenvolvimento urbano: produção intensiva em informação e conhecimento sem alto impacto ambiental."	De Jong et al. (2015)

"As cidades inteligentes não são apenas uma agregação ou uma fusão de algumas aplicações, elas representam uma nova ideia cultural de cidades. A tecnologia é um motor, um facilitador para o desenvolvimento da cidade, mas se não houver uma estratégia e um objetivo que a tecnologia deva seguir, o risco é a desordem".

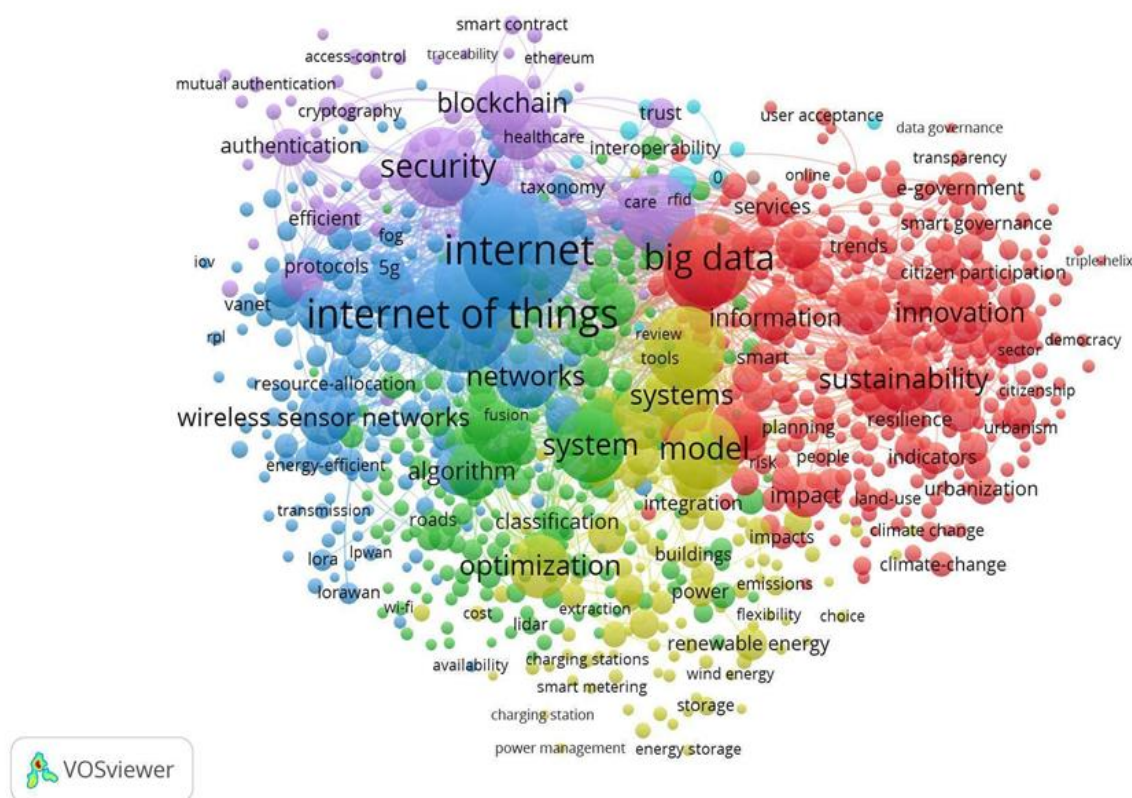
Zubizarreta et al. (2016)

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Ao analisar as definições mais difundidas na literatura, percebe-se que existem pontos em comum e pontos de divergência entre os autores. Tais discordâncias se manifestam, principalmente, sobre o que deve compor uma cidade inteligente e qual seu objetivo final.

A partir desse pressuposto, buscou-se identificar os temas mais discutidos no campo de estudo. Para isso, foram utilizados 292 artigos de revisão de literatura de cidades inteligentes para analisar os temas que se destacam. Foram utilizadas somente revisões de literatura indexadas na Web of Science, revisadas por pares. Embora artigos empíricos, livros, ensaios e conferências possuam dados e informações relevantes sobre o tema, optou-se por utilizar apenas revisões, uma vez que estas já exploraram em profundidade o campo de estudo e possuem maior amplitude para apresentar os temas gerais da área. Para análise, foi gerada a Figura 2 com apoio do software VOSviewer considerando co-ocorrência de palavras-chaves. Tal análise permite averiguar em quais áreas os pesquisadores têm dedicado maiores esforços.

Figura 2 - Temas que se destacam no campo de estudo de cidades inteligentes



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

É possível perceber que os temas se dividem em cinco agrupamentos/clusters, que podem ser classificados em tecnologia (clusters azul, verde e lilás), infraestrutura (cluster amarelo) e sociedade (cluster vermelho). O tema ‘Big Data’, embora seja uma tecnologia, aparece em vermelho. Isto pode ocorrer devido ao uso de Big Data para análises específicas de temas sociais, no entanto, uma análise em profundidade seria necessária para explicar com precisão a relação entre os temas.

Os clusters relacionados à tecnologia evidenciam a preocupação com o desenvolvimento tecnológico para tornar as cidades mais seguras e conectadas (Bolívar; Muñoz, 2018; Sánchez-Corcuera et al., 2019; Abutabenjeh et al., 2022; Dai; Hasanefendic; Bossink, 2024). As pesquisas deste cluster aparecem fortemente relacionadas à implementação de tecnologias digitais, como Internet das Coisas (Qian et al., 2019; Sharma et al., 2020), *blockchain* (Bhushan et al., 2020; Kamruzzaman et al., 2022) e redes *wireless* (Khalifeh et al., 2021). Também é possível evidenciar a preocupação com saúde e alocação de recursos (Oueida et al., 2019; Poongodi et al., 2021).

O cluster amarelo, por sua vez, mostra elementos relacionados à infraestrutura urbana, principalmente no que tange à infraestrutura necessária para a produção, armazenamento e distribuição de energia em cidades inteligentes (Almihat et al., 2022; Cortese et al., 2022). Estas questões são evidenciadas por meio dos temas ‘armazenamento energético’ e ‘energia renovável’, entre outros.

O cluster vermelho segue um caminho diferente dos anteriores e evidencia a preocupação com os pilares social e ambiental, como pode ser visto por meio dos temas ‘sustentabilidade’ (Abu-Rayash; Dincer, 2021), ‘pessoas’ (Xu; Geng, 2019), ‘democracia’ (Nesti; Graziano, 2020), ‘participação cidadã’ (Simonofski, 2021) e ‘inovação’ (Appio et al., 2019). Assim, o cluster vermelho se destaca frente aos demais devido sua abrangência e preocupação com os diversos elementos de uma cidade, integrando tecnologia, governança, urbanismo e democracia.

É possível perceber que os principais conceitos de cidades inteligentes encontrados na literatura (Quadro 1) são relacionados ao cluster vermelho (Figura 2), evidenciando a importância das pessoas, da sustentabilidade e da inovação no desenvolvimento das cidades. É a partir deste cluster que emerge o foco na qualidade de vida dos cidadãos urbanos, assumido neste estudo como objetivo fundamental de uma cidade inteligente.

A análise da formação dos clusters e dos temas mais pesquisados reforça a existência de duas vertentes literárias, a primeira com foco no uso da tecnologia para a transformação das cidades, e a segunda dedicada ao desenvolvimento sustentável, a resiliência urbana e a

centricidade humana. A tecnologia, no entanto, mesmo quando não colocada como foco da discussão ou como objetivo final das cidades inteligentes, é posicionada como um meio para atingir os objetivos da cidade (Pandya et al., 2023; Dai; Hasanefendic; Bossink, 2024). Além disso, a maior parte das empresas envolvidas com o desenvolvimento de cidades inteligentes são empresas de tecnologia (Mitra et al., 2022; Fraiberg et al., 2021).

Após compreender a amplitude dos temas associados às cidades inteligentes, buscou-se identificar as dimensões e elementos que constituem uma cidade inteligente, como mostra a próxima seção.

2.2 DIMENSÕES DAS CIDADES INTELIGENTES

Um ambiente urbano inteligente deve proporcionar saúde, educação, infraestrutura sanitária, transporte, lazer, segurança e inúmeros outros benefícios para diferentes grupos e populações de uma mesma cidade. Ainda, uma cidade inteligente precisa ser ancorada por fortes redes de relacionamento e constantes interações entre seus atores internos (governo, cidadãos e organizações) e externos, como membros de outras regiões que se relacionam com a cidade (Desdemoustier et al., 2019). A capacidade de desenvolver inovação, fomentar o desenvolvimento de negócios e o empreendedorismo, fortalecer o turismo e as relações externas, além de promover equidade social para seus cidadãos, são características imprescindíveis de uma cidade inteligente (Nam; Pardo, 2011; Broccardo; Culasso; Mauro, 2019).

Com o acelerado crescimento das cidades, inúmeros aspectos precisam de atenção. Cada vez mais, planejadores urbanos, formuladores de políticas públicas e gestores de cidades unem esforços para identificar os elementos capazes de tornar os ambientes urbanos mais sustentáveis, resilientes e inteligentes (Karthikeyan, 2025). Para que uma cidade prospere, além do engajamento de múltiplos atores, é necessário que exista uma visão orientada ao desenvolvimento de uma arquitetura que aborde simultaneamente vários aspectos e dimensões das cidades (Charitonidou, 2024)

Apenas uma parte mínima de pesquisas anteriores tentaram explicar o fenômeno das cidades inteligentes através da identificação de suas dimensões (Lombardi et al., 2012; Gil-Garcia et al., 2015; Silva et al., 2018; Firmansyah et al., 2019; Ghazinoory et al., 2024). Além disso, poucos estudos analisaram as cidades inteligentes sob a ótica da Teoria Geral dos Sistemas, considerando-as sistemas complexos compostos por dimensões e elementos que se inter-relacionam e retroalimentam (Meerow et al., 2016; Spiliotopoulou; Roseland, 2020).

O Quadro 2 reúne os principais elementos das cidades inteligentes identificados na literatura e categoriza-os em dimensões. As dimensões representam os subsistemas do sistema complexo que é a cidade inteligente, e são vistas como partes homogêneas identificáveis de uma cidade, que muitas vezes são analisadas de forma isolada, como economia, ambiente natural, entre outras. Os elementos são as partes que constituem tais dimensões.

Quadro 2 - Dimensões e elementos das cidades inteligentes

Dimensão	Descrição	Elementos	Principais autores
Ambiente natural	Refere-se às condições naturais ideais necessárias para a qualidade de vida humana e a prosperidade das gerações e do planeta.	Gestão eficientes de recursos naturais Energia renovável Áreas verdes Qualidade sonora, da terra, da água e do ar Baixa emissão de CO ₂ Gestão de resíduos	Lai et al. (2020); Myeong et al. (2022); Ateş; Önder (2023), Allam et al. (2022), Bibri et al. (2024)
Infraestrutura urbana	Componentes urbanos indispensáveis para atender as necessidades de locomoção, habitação, trabalho e lazer da população urbana.	Mobilidade e transporte Conveniência e acesso Design inteligente Edifícios inteligentes Atributos geográficos Saneamento básico	Silva et al. (2018); Kasznar et al. (2021), Blazy; Blazy; Drobiec, (2022); Charitonidou, (2024)
Economia inteligente	Consiste em proporcionar oportunidades e prosperidade para os cidadãos em diversas áreas por meio de inter-relações entre sociedade civil organizada, governo e organizações.	Emprego digno de qualidade Acesso à saúde Educação de qualidade Moradia Renda Fomento a negócios Custo de vida ideal Segurança pública	Al Sharif; Pokharel (2021); Silva et al. (2018); Nam; Pardo (2011); Abutabenjeh et al. (2022); Abu-Rayash; Dincer (2025)
Tecnologia e Inovação	Incentivo à inovação e a tecnologias para integrar o sistema urbano e aumentar a qualidade de vida da população.	Infraestrutura digital Tecnologias digitais e móveis Redes de telecomunicação Fomento à inovação Tecnologias emergentes Patentes	Al Sharif; Pokharel (2021); Myeong et al. (2022); Kasznar et al. (2021); Pandya et al., (2023); Qian et al. (2019); Sharma et al. (2020); Dai; Hasanefendic; Bossink (2024)
Pessoas	Preocupa-se com as interações sociais de qualidade e suas percepções sobre a vida pública, devendo gerar senso de pertencimento e vida digna.	Capital social Cultura, turismo e lazer Criação de conhecimento Criatividade Colaboração Justiça e igualdade	Chourabi et al. (2012); Al Sharif; Pokharel (2021); Silva et al. (2018); Kasznar et al. (2021); Pangsy-Kania; Kania (2024); Dhenge; Nimbarte (2024); Pazos-García et al. (2025)

Governança inteligente	Trata-se do envolvimento dos órgãos de gestão pública municipais, estaduais e federais na criação de políticas públicas e serviços aos cidadãos.	Políticas públicas Legislações e diretrizes Plano de resiliência Serviços públicos Programas sociais	Gil-Garcia et al. (2015); Al Sharif; Pokharel (2021); Silva et al. (2018); Myeong et al. (2022); Ruhlandt (2018); Lim; Yigitcanlar (2022); Golubchikov; Thornbush (2022)
Organizações	Inclui organizações privadas, organizações públicas e instituições de ensino que se relacionam com a comunidade.	Pesquisa e desenvolvimento Educação tecnológica Qualificação profissional Empreendedorismo	Anttila; Jussila (2018); Dameri et al. (2016); Kummitha (2019); Penco et al. (2021)

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Cada uma das dimensões representa uma área fundamental para o desenvolvimento urbano. Isto é particularmente importante porque evidencia a amplitude e a complexidade das cidades inteligentes. É neste sistema complexo, composto por várias dimensões e inúmeros elementos que as cidades inteligentes tomam forma. Cabe ressaltar que outros elementos urbanos, embora não mencionados, constituem as dimensões urbanas e podem ser analisados no futuro.

Há duas características importantes das cidades inteligentes que, embora sejam claramente evidenciadas na literatura, não foram categorizadas como dimensões neste estudo: sustentabilidade e resiliência. Isso porque o desenvolvimento sustentável e a resiliência manifestam-se a partir do resultado positivo das inter-relações e da retroalimentação das dimensões e elementos previamente identificados (Nam; Pardo, 2011). Assim, entende-se neste estudo, que a sustentabilidade e a resiliência são um resultado esperado a partir da sinergia das dimensões do sistema urbano (Vaidya; Chatterji, 2020; Okonta; Vukovic, 2024).

Devido a evidente complexidade do tema, a maior parte das pesquisas tem como foco o estudo de dimensões isoladas das cidades inteligentes, como: tecnologia (Dai; Hasanefendic; Bossink, 2024; Bellini et al., 2022; Komninos et al., 2022); governança (Tomàs, 2024; Lim; Yigitcanlar, 2022; Golubchikov; Thornbush, 2022); infraestrutura urbana (Alghamdi, 2024; Kasznar et al., 2021); pessoas (Calzada, 2021; Pangsy-Kania; Kania, 2024; Dhenge; Nimbarte, 2024); ambiente natural (Zhou et al., 2021; Bibri et al., 2024) e demais dimensões.

Para uma vertente literária, uma cidade se torna mais inteligente ao passo em que evolui em direção a uma única dimensão, podendo tornar-se mais conectada (Kummitha, 2020; Dai; Hasanefendic; Bossink, 2024), sustentável (Sharifi et al., 2024) ou aprimorada em infraestrutura (Yang; Yamagata, 2020). Para outra vertente da literatura, embora cada dimensão

individualmente desempenhe um papel importante no desenvolvimento das cidades, os elementos tecnológicos e não-tecnológicos (atributos demográficos, geográficos, contexto urbano etc.) precisam ser considerados de forma integrada (Keshavarzi et al., 2021; Ghazinoory et al., 2024). Sob esta ótica, o grau de tecnologia, a infraestrutura urbana, o ecossistema empresarial ou qualquer outra dimensão individualmente não é capaz de transformar sozinha a totalidade de espaço urbano para transformá-lo em uma cidade inteligente.

Assim, uma cidade pode ser considerada inteligente quando a sinergia entre suas dimensões e elementos passa a proporcionar qualidade de vida superior a seus cidadãos ao mesmo tempo em que assegura a conservação do planeta para as gerações futuras. A partir disso, este estudo propõe o seguinte conceito para definir uma cidade inteligente:

Uma cidade inteligente é um sistema dinâmico e complexo, aberto e multidimensional, composto por dimensões de ambiente natural, infraestrutura urbana, economia, tecnologia e inovação, pessoas, governança e organizações, integrando seus diversos elementos que se inter-relacionam e retroalimentam ao longo do tempo para proporcionar melhor qualidade de vida a seus cidadãos, ao passo em que se torna resiliente e promove o desenvolvimento sustentável.

Sob esta perspectiva, a qualidade educacional analisada neste estudo, desempenha um papel central na promoção do desenvolvimento sustentável e no avanço das cidades inteligentes, uma vez que está intrinsecamente ligada às dimensões urbanas (Maruna, 2019). Ao capacitar cidadãos com conhecimento, habilidades e competências, a educação fomenta a criatividade, o empreendedorismo, a inovação tecnológica e a participação social, criando sinergias que fortalecem a economia local, aprimoram as políticas públicas e promovem maior inclusão social (David; McNutt, 2024; Kasch et al., 2023). Nesse contexto, a escolha da qualidade educacional como variável de interesse para a construção de um modelo econométrico de dados em painel é justificada por sua capacidade de capturar, tanto os efeitos diretos da educação de qualidade sobre o desenvolvimento das cidades inteligentes, quanto sua relação com outras dimensões essenciais para a prosperidade das cidades. O modelo econométrico pode, assim, fornecer *insights* valiosos sobre como a melhoria da educação influencia a evolução integrada das dimensões urbanas ao longo do tempo.

2.3 ABORDAGENS TEÓRICAS QUE ANCORAM A LITERATURA DE CIDADES INTELIGENTES

Apesar do elevado número de publicações no campo de estudo, poucas teorias são exploradas com algum grau de profundidade acerca das cidades inteligentes. Para identificar algumas das teorias utilizadas, foi realizada uma busca na Web of Science adicionando ‘*theory*’ na busca por ‘*smart cit**’. As teorias explícitas nos estudos consultados são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Principais teorias associadas às cidades inteligentes

Abordagem teórica	Definição	Autores
Capacidades dinâmicas	Busca explicar como as organizações criam e renovam recursos e competências para a criação e sustentação de vantagem competitiva. No contexto estudado, as capacidades dinâmicas suportam a vantagem competitiva das firmas que, por sua vez, aumentam a inovação do espaço onde estão inseridas e fomentam o desenvolvimento das cidades inteligentes.	Chong et al. (2018); Linde et al. (2021)
Desenvolvimento baseado em conhecimento	Considera o conhecimento como elemento estruturante central de uma estratégia de desenvolvimento para as cidades e regiões. Consiste na identificação coletiva e na valorização de um conjunto de valores cujo equilíbrio favorece a viabilidade e a transcendência de uma determinada comunidade.	Yigitcanlar (2010); Lönnqvist et al. (2014); Carrillo et al. (2014); Chang et al. (2018)
Capacidade absoritiva	Tem como foco central a forma como novos conhecimentos provenientes de fontes externas ou obtidos por meio de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) são usados para incrementar o grau de inovação de determinada região. A capacidade absoritiva é considerada um pressuposto primário de inovação regional, onde todos os atores (cidadãos, instituições e governo) atuam em rede para manter e desenvolver a região.	Caragliu et al. (2013); Jucevičius et al. (2017); Ishkineeva et al. (2015)
Teoria da Coprodução	Sinergias podem ser encontradas a partir de múltiplos atores público-privados. Os papéis do público em geral e dos governos municipais são igualmente cruciais e, quando ambos contribuem para a política pública e sua implementação, os benefícios alcançados podem ser maximizados.	Ostrom (1996); Huang-Lachmann (2019)
Teoria Geral de Sistemas	Sob a lente da teoria geral dos sistemas, uma cidade inteligente é um sistema composto por inúmeros subsistemas que operam em conjunto para alcançar um objetivo comum.	Ostrom (2009); Meerow et al. (2016); Spiliotopoulou; Roseland (2020)

Modernização Ecológica	Esta lente teórica reconhece explicitamente que os problemas e desafios ambientais formam parte do núcleo central das mudanças estruturais necessárias para a transformação das cidades. Seu foco é na criação de eco-cidades com design sustentável, eficiência de recursos e crescimento econômico.	Spiliotopoulou; Roseland (2020)
Teoria ator-rede	Considera que o conhecimento é um produto social gerado pelos indivíduos urbanos, devendo assim ser usado para criar estratégias e soluções para a cidade.	Secinaro et al. (2021); Vogeley; Ryder (2023)
Sistemas Adaptativos Complexos	Onde interações sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas geram comportamentos complexos, promovendo sistemas adaptáveis e resilientes que podem gerenciar melhor a incerteza urbana.	Ochoa et al. (2024)

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os trabalhos identificados na literatura e que utilizaram teorias específicas, exploram as cidades inteligentes sob diferentes aspectos. A Teoria das Capacidades Dinâmicas, por exemplo, se preocupa com as capacidades locais das áreas urbanas e como estas são capazes de aumentar a inteligência das cidades (Linde et al., 2021). A Teoria da Modernização Ecológica analisa a proteção ambiental e a possibilidade de uma sustentabilidade lucrativa (Spiliotopoulou; Roseland, 2020).

A Teoria do Desenvolvimento baseado em Conhecimento explora o conhecimento coletivo como estratégia para o desenvolvimento de determinada região (Lönqvist et al., 2014). Na mesma linha, a Teoria das Capacidades Absortivas busca absorver, transformar e aplicar conhecimento externo (Caragliu, 2013). A Teoria da Coprodução, por sua vez, integra governo e sociedade civil organizada para tomar decisões e ações assertivas em relação ao desenvolvimento local (Ostrom, 1996).

A Teoria Ator-Rede envolve compreender a cidade como um sistema complexo formado por interações dinâmicas entre atores humanos (como cidadãos, governo, empresas, organizações) e não-humanos (como infraestruturas, tecnologias, regulamentos, dados). Essa abordagem enfatiza que todos os elementos, sejam materiais ou imateriais, possuem agência no desenvolvimento do sistema urbano e na constituição de uma cidade inteligente (Secinaro et al., 2021). A Teoria dos Sistemas Adaptativos analisa as cidades inteligentes como sistemas dinâmicos e multifacetados, compostos por múltiplos elementos interdependentes que interagem, se adaptam e evoluem ao longo do tempo (Ochoa et al., 2024).

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS), por outro lado, examina as cidades como um sistema amplo formado por elementos que dão forma a subsistemas que interagem entre si para alcançar um objetivo comum. Embora seja uma abordagem ampla e complexa, capaz de

analisar os diversos componentes das áreas urbanas, a Teoria Geral dos Sistemas ainda é mais utilizada para compreender fenômenos isolados das cidades, seja sua sustentabilidade (Spiliotopoulou; Roseland, 2020), recursos ou competências (Chong et al., 2018).

Todas as principais vertentes teóricas identificadas no Quadro 3 apresentam forte vínculo com os temas do cluster vermelho da Figura 2. Isto evidencia, mais uma vez, a preocupação com questões sociais, desenvolvimento sustentável e resiliência por meio da cooperação e inter-relação entre os diversos atores e elementos das cidades.

Apesar da importância das demais teorias identificadas, a Teoria Geral dos Sistemas é a única que considera a malha urbana a partir das inter-relações de seus elementos com foco em um objetivo final. Neste estudo, a Teoria Geral dos Sistemas auxiliou na criação de um conceito abrangente para cidades inteligentes a partir das diferentes dimensões urbanas, além de permitir uma visão ampla e integrativa das cidades. Sob essa ótica, as cidades representam vários sistemas distribuídos independentes e heterogêneos, que colaboram em relacionamentos complexos para atingir objetivos globais (Cavalcante et al., 2016; Lom; Pribyl., 2021). É devido sua amplitude e capacidade de considerar as inter-relações entre diversos elementos de um sistema complexo que esta teoria foi escolhida para nortear esta pesquisa.

2.3.1 Teoria Geral dos Sistemas

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi criada por volta de 1950 pelo biólogo austríaco Ludwig von Bertalanffy. Nesta abordagem teórica, um sistema é formado por diversos componentes e elementos que interagem entre si e com o ambiente para alcançar um objetivo final. A partir de seus inúmeros mecanismos físicos e abstratos inter-relacionados e em sinergia, um sistema pode ser considerado um modelo orgânico que opera de modo aberto. De acordo com a TGS, a falta de sinergia nas inter-relações entre as partes pode causar a entropia e desintegração do sistema (Von Bertalanffy, 1975).

Ao longo do tempo, a TGS ancorou pesquisas de diversas áreas do conhecimento, como administração, economia, engenharia e sociologia. Em 1991, Luhmann partiu da TGS para estudar as relações entre os elementos que compõe a sociedade. O autor avançou a teoria sistêmica classificando os sistemas em *allopoiéticos* (técnicos) e *autopoiéticos* (organismos, sistemas sociais ou sistemas psíquicos). Os sistemas sociais *autopoiéticos* representam as interações humanas, as organizações e as sociedades (Luhmann, 1995). Sob a lógica de Luhmann, é precisamente nesta *autopoiésis* que se enquadram as cidades inteligentes. Em outras palavras, ao passo em que as cidades inteligentes são analisadas como um sistema

autopoiético, assume-se que possuem componentes que se inter-relacionam e retroalimentam para que o desenvolvimento urbano ocorra e a cidade alcance um objetivo comum (Cunha, 2019).

A TGS se destaca frente a outras teorias por ser ancorada pelo expansionismo (todo fenômeno faz parte de um fenômeno maior), pelo pensamento sintético (cada fenômeno desempenha um papel no sistema maior) e pela teleologia (cada fenômeno atua em direção a um propósito ou finalidade) (Von Bertalanffy, 1975). Assim, um sistema urbano (cidade) inteligente é constituído por elementos e fenômenos que pertencem ao todo, seguindo uma lógica sistêmica onde as inter-relações entre diversos elementos com características próprias impactam e são impactados por outros elementos. São estes elementos e suas inter-relações que dão às cidades inteligentes a capacidade de desenvolver habilidades para absorver conhecimento, inovação e competitividade (Spiliotopoulou; Roseland, 2020) e, por isso, precisam ser identificados e compreendidos. Para compreender melhor como tais dimensões e elementos se relacionam, a cidade inteligente é analisada como um sistema urbano complexo.

Autores brasileiros também analisam as cidades sob a ótica sistêmica. De acordo com Villaça (1998), a cidade deve ser entendida como um sistema complexo, formado por múltiplos agentes sociais cujas ações se inter-relacionam e moldam a configuração espacial urbana. Para o autor, a análise sistêmica permite compreender que os fenômenos urbanos não ocorrem isoladamente, mas são resultado de processos históricos, sociais e econômicos interdependentes, que produzem desigualdades espaciais. A cidade, sob sua perspectiva, é um sistema que expressa a luta de classes e as contradições próprias do modo de produção capitalista. Corroborando, Lencioni (1999) argumenta que a região deve ser entendida como uma totalidade estruturada, constituída por elementos que se articulam e se influenciam mutuamente. Assim, a abordagem sistêmica é fundamental para captar a complexidade das dinâmicas regionais, uma vez que permite superar análises fragmentadas e reconhecer os processos de interdependência entre o local, o regional e o global.

A maior parte das pesquisas em cidades inteligentes, mesmo as que utilizaram a TGS, têm sido fragmentadas, lidando com preocupações ou problemas específicos das cidades (Cavalcante et al., 2016). Na prática, isso limita a interação entre as dimensões urbanas e seus atores. Na teoria, restringe a possibilidade de trocas de conhecimento entre pesquisadores especialistas em suas áreas. A TGS permite que seja lançado um olhar sobre o todo e, nesta pesquisa em particular, permite observar as interações entre as dimensões urbanas e a relação com a qualidade educacional.

2.4 CIDADE INTELIGENTE: UM SISTEMA COMPLEXO MULTIDIMENSIONAL

Nesta seção, as cidades inteligentes são analisadas sob a ótica da TGS, a fim de compreender como o sistema urbano inteligente é formado e como suas dimensões e elementos interagem.

2.4.1 Compreendendo o sistema

Na TGS a ênfase é dada para as inter-relações e para a interdependência entre os componentes que formam um sistema, que é visto como uma totalidade integrada (Von Bertalanffy, 1975). A partir da abordagem sistêmica, uma cidade inteligente pode ser compreendida com um sistema complexo, multidimensional, adaptativo e interconectado que envolve áreas interdisciplinares como sociologia, economia, engenharia, ecologia, agronomia, antropologia, administração e ciência política (Roseland, 2012; Uphoff, 2014; Spiliotopoulou; Roseland, 2020). Em uma cidade inteligente, a complexidade, a dinamicidade, a não-linearidade e a interdependência entre os elementos ao longo do tempo fazem com que qualquer mudança significativa em uma das partes afete todo o sistema (Vogele; Ryder, 2023).

Sob a ótica da TGS, ao serem observadas como um sistema complexo aberto que atua em múltiplas dimensões, as cidades inteligentes seguem determinados parâmetros e características que facilitam a interoperabilidade entre seus diferentes subsistemas para que estes operem em direção a um propósito. Adaptando os princípios de Von Bertalanffy (1975), as principais características de um sistema urbano complexo (cidade inteligente) podem ser definidas como:

- Sinergia: interações eficazes entre as dimensões e elementos do sistema possibilitam seu funcionamento adequado.
- Negentropia: um componente negentrópico é aquele que contribui para o equilíbrio e para o desenvolvimento da cidade, de forma que o sistema não entre em estado de entropia. Neste sentido, cada dimensão deve ter seu papel ativo no sistema.
- Retroalimentação: todas as dimensões e elementos passam por processos de transformação, gerando *inputs* e *outputs* que retroalimentam o sistema.
- Resiliência: capacidade do sistema superar distúrbios de fenômenos externos.
- Holismo: o sistema deve ser estudado como um todo, pois as dimensões e elementos não são explicáveis a partir de propriedades individuais reducionistas. Deve-se focalizar no arranjo todo e nas relações entre as partes que interagem e interconectam-se organicamente.

- Interdependência: as interações internas e externas entre as dimensões e os elementos possuem relações de causa e efeito.
- Morfogênese: capacidade de se modificar, se corrigir e melhorar ao longo do tempo para obter melhores resultados.
- Homeostasia: autorregulação capaz de garantir a permanência e o equilíbrio do sistema por meio de sua constante transformação.
- Adaptabilidade: capacidade de lidar com rupturas e distúrbios. A adaptabilidade é um ciclo que leva a cidade a períodos de mudanças, que podem ou não ser seguidos por períodos de homeostase.

Assim, as cidades enquanto sistemas complexos abertos e multidimensionais apresentam interações com o meio ambiente por meio de entradas e saídas, e sua natureza orgânica faz com que as mudanças em uma parte do sistema afetem as outras, ou que uma dimensão do sistema produza alterações em outras dimensões. Com base nisso, entende-se que uma cidade inteligente tem como principal aspecto a interoperabilidade, isto é, constitui-se como um sistema complexo – e seus subsistemas – e desenvolve-se ao passo em que suas dimensões e elementos interagem entre si, operando funções específicas que contribuem para o desenvolvimento do todo.

Uma cidade inteligente é multidimensional, uma vez que cada uma de suas dimensões é composta por elementos-chaves que se retroalimentam e ancoram seu desenvolvimento. Os sistemas existem dentro de outros sistemas, são abertos, e suas funções dependem de sua estrutura. Assim, seguindo a lógica da TGS, a cidade é um sistema, composto por outros sistemas (dimensões) que compõem outros sistemas (elementos urbanos).

Em outras palavras, uma cidade é um sistema complexo composto por diversos sistemas menores (economia, governança, pessoas etc.), que são estruturados do modo necessário para que a cidade opere e prospere. A estrutura da cidade define funções para os subsistemas, que geram *inputs* e *outputs*, e passam por constantes processos de transformação que afetam as demais partes do sistema. Nas cidades inteligentes deve haver um processo de retroalimentação que leve à morfogênese sinérgica entre os elementos.

2.4.2 Modelando o sistema

Ao longo do tempo e da evolução das áreas urbanas, inúmeros cientistas dedicaram esforços na compreensão e representação de sistemas urbanos por meio de discussões sobre o metabolismo das cidades (Kennedy et al., 2007) e a formação de ecossistemas urbanos (Alberti

et al., 2003). A economista Elinor Ostrom foi pioneira no estudo de sistemas socioecológicos complexos ao considerar os diferentes níveis, componentes e configurações do sistema urbano (Ostrom, 2009; Anderies et al., 2004; McGinnis; Ostrom, 2014).

Avançando as análises de Ostrom, um importante trabalho da atualidade que analisou as cidades sob a lógica de sistemas foi desenvolvido por Meerow et al. (2016), que classificaram os sistemas urbanos em quatro macrodimensões acopladas, multiescaláveis e interconectadas de redes socioecológicas e sociotécnicas: redes de governança, fluxos de materiais e energia, infraestrutura e forma urbana, e dinâmica socioeconômica. O diagrama conceitual de Meerow et al. (2016) foi comparado (Quadro 4) com as dimensões e elementos identificados na literatura de cidades inteligentes (Quadro 3).

Quadro 4 - Macrodimensões que norteiam as dimensões e elementos urbanos

Macrodimensão	Dimensão	Elementos
Fluxos de materiais e energia	Ambiente natural	Gestão eficientes de recursos naturais Energia renovável Áreas verdes Qualidade sonora, da terra, da água e do ar Emissões de CO ₂ Gestão de resíduos
Infraestrutura e forma urbana	Infraestrutura urbana	Mobilidade e transporte Conveniência e acesso Design inteligente Edifícios inteligentes Atributos geográficos Saneamento básico
Dinâmica socioeconômica	Economia inteligente	Emprego de qualidade Acesso à saúde Educação de qualidade Moradia Renda Fomento a negócios Custo de vida Segurança pública
	Pessoas	Capital social Cultura, turismo e lazer Criação de conhecimento Criatividade Colaboração Justiça e igualdade
Redes de governança	Governança inteligente	Políticas públicas legislações e diretrizes Plano de resiliência Serviços públicos Programas sociais

	Organizações	Pesquisa e desenvolvimento Incentivo ao empreendedorismo Educação tecnológica Qualificação profissional Empreendedorismo
-	Tecnologia e Inovação	Infraestrutura digital Tecnologias digitais e móveis Redes de telecomunicação Fomento à inovação Tecnologias emergentes Patentes

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Meerow et al. (2016) não consideraram a tecnologia e a inovação (dimensão identificada neste estudo) como componente da dinâmica urbana. No entanto, nesta pesquisa a dimensão Tecnologia e Inovação é entendida como parte imprescindível das engrenagens urbanas. As novas tecnologias e a inovação são, muitas vezes, o fomento que move a cidade ou parte dela, envolvendo governo, instituições de pesquisa e desenvolvimento, universidades, organizações privadas ou públicas que integram a cidade (Sharif, 2012). Deste modo, percebe-se que as macrodimensões propostas por Meerow e colegas são válidas, mas não incorporam todas as dimensões urbanas, o que fragiliza o modelo dos autores.

Além disso, ao analisar as cidades inteligentes sob a lente da Teoria Geral dos Sistemas, entende-se que a abordagem multi-escalar de Meerow et al. (2016) se mostra inadequada por definir uma ordem de importância para as macrodimensões urbanas. No presente estudo, optou-se por analisar as dimensões e elementos das cidades inteligentes como um sistema em rede.

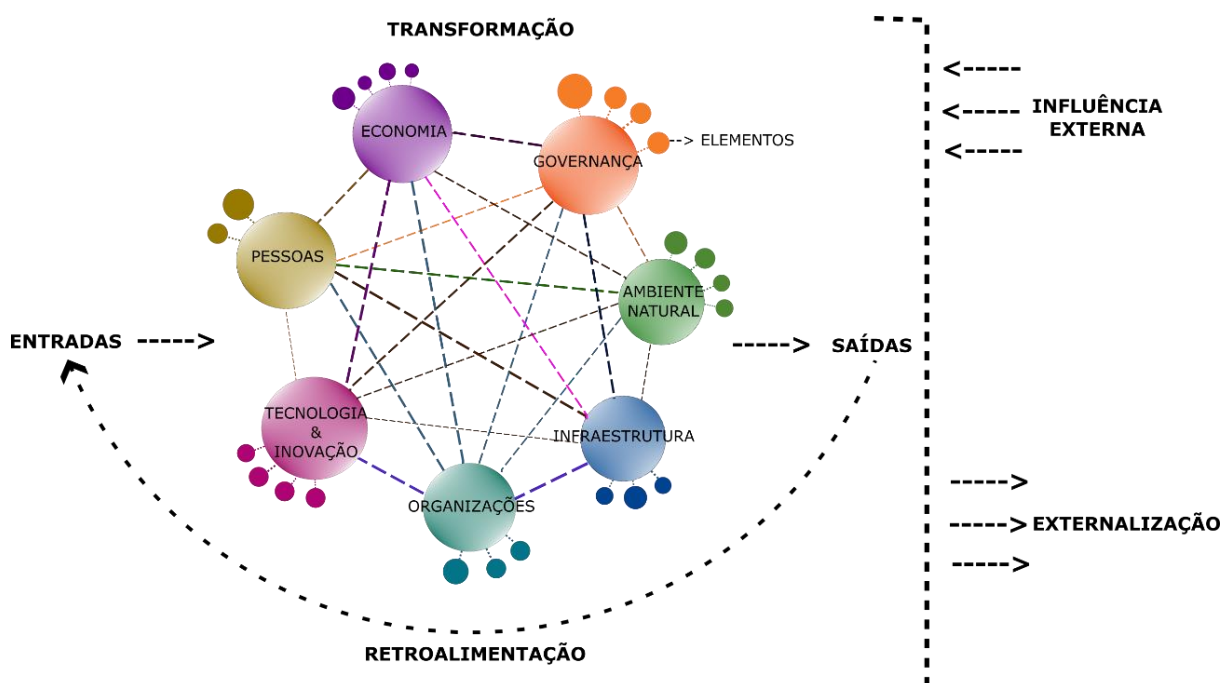
Neste sentido, é possível inferir que os elementos e as dimensões que dão forma às cidades inteligentes não se diferenciam dos sistemas urbanos tradicionais. O que torna as cidades mais inteligentes é a formação de um sistema aberto, onde as dimensões e respectivos elementos atuam em rede, se inter-relacionam, colaboram e retroalimentam tornando-se resilientes e sustentáveis com foco em um objetivo comum, que deve ser a qualidade de vida dos cidadãos.

Assume-se aqui, que o sistema urbano forma uma rede interconectada, onde os elementos de cada dimensão são fatores-chaves para o desenvolvimento urbano e geram influências diferentes no sistema ao longo do tempo, sem assumir uma estrutura hierárquica como proposto por Meerow et al. (2016). Assim, em determinado momento a dimensão governança, por exemplo, pode ser responsável pela implementação de políticas públicas que influenciam todo o sistema; em outro momento, alterações no ambiente natural podem exigir a

adaptação das demais dimensões; ou ainda, fatores econômicos podem impactar o dinamismo de múltiplos elementos. Tais fenômenos podem ocorrer sozinhos ou concomitantemente.

A Figura 3 mostra a interoperabilidade de uma cidade inteligente criada de acordo com os princípios da TGS. Como pode ser observado, foi considerado o processo de transformação e as relações externas de acordo com a definição de cidade inteligente. Os clusters maiores representam as dimensões das cidades (sistemas), os clusters menores representam os elementos urbanos (subsistemas), e as linhas representam as inter-relações que ocorrem no sistema urbano (cidade).

Figura 3 - Ilustração do conceito de cidade inteligente com base na TGS



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Existem muitas divergências na literatura sobre o desenvolvimento e a evolução das cidades ao longo do espaço-tempo para tornarem-se inteligentes (Charalabidis et al., 2020; Daneshvar et al., 2023). Este estudo mostra que as diversas partes que dão forma às cidades (dimensões e elementos) permanecem as mesmas de outrora. No entanto, a maior parte das pesquisas continuam voltadas a fatores específicos na tentativa de transformar as cidades, quase que exclusivamente, através da tecnologia (Dai; Hasanefendic; Bossink, 2024; Bellini et al., 2022), da sustentabilidade (Shao; Min, 2025) ou do crescimento econômico (Sergi et al., 2019; Abu-Rayash; Dincer, 2025). Logo, existe uma lacuna para explorar as cidades inteligentes a

partir dos componentes já conhecidos, preocupando-se menos com dimensões individualizadas, e mais com a retroalimentação entre as partes interagentes e interdependentes.

A inteligência das cidades emerge e se desenvolve a partir das dimensões urbanas que, por sua vez, movem os agentes de transformação (setor público, setor privado, instituições de ensino e sociedade civil organizada). Neste contexto, a qualidade educacional deve ser analisada como um fator central (Molnar, 2021), pois impacta diretamente todas as dimensões urbanas, ao formar cidadãos capacitados para enfrentar desafios complexos, fomentar a inovação e promover uma cultura de colaboração. Por meio da qualidade educacional é possível gerar impacto sobre a governança pública, ao preparar lideranças mais conscientes e participativas (Panagiotakopoulos et al., 2024); sobre o ambiente econômico, ao capacitar uma força de trabalho qualificada (David; McNutt, 2019); sobre o ambiente tecnológico, ao estimular a pesquisa e o desenvolvimento (Sethi et al., 2024); e sobre a sustentabilidade, ao formar uma sociedade mais responsável com o meio ambiente (Okonta; Vukovic, 2024). A educação é um dos elementos das cidades inteligentes que conecta e retroalimenta as dimensões urbanas, contribuindo para a construção de cidades inteligentes e centradas na qualidade de vida dos cidadãos.

Para não gerar uma análise individual de uma única dimensão ou elemento urbano, este estudo assegura a inclusão de uma série de variáveis de controle associadas às dimensões urbanas e à qualidade educacional. Com isso, é apresentada uma visão mais ampla de quais elementos e dimensões urbanos geram maior impacto no desenvolvimento de cidades inteligentes.

2.5 ELEMENTOS DAS CIDADES INTELIGENTES

Diversos são os elementos que constituem as dimensões urbanas de uma cidade inteligente. A dimensão Economia Inteligente, por exemplo, é composta por inúmeros elementos, como emprego digno de qualidade, acesso à saúde, educação de qualidade, moradia digna, salário digno, segurança pública, entre outros (Abutabenjeh et al., 2022; Abu-Rayash; Dincer, 2025).

Neste estudo, alguns elementos urbanos (aqui tratados como variáveis) são destacados devido sua forte relação com as dimensões urbanas, como evidenciado na literatura apresentada, e devido a disponibilidade de dados. As variáveis empregadas nas análises foram coletadas por meio de diferentes fontes e bases de dados. Contudo, cabe destacar que, devido à escassez de dados públicos no Brasil, especialmente a falta de dados completos e a

irregularidade na disponibilidade de informações em nível nacional e regional dificultaram a inclusão de mais variáveis, o que restringiu a abrangência da análise. Todavia, as variáveis selecionadas estão entre as principais utilizadas em pesquisas de desenvolvimento econômico, regional e de cidades inteligentes. O Quadro 5 apresenta as dimensões urbanas e as respectivas variáveis utilizadas na análise, devidamente referenciadas com literaturas que utilizaram as mesmas variáveis anteriormente.

Quadro 5 - Dimensões urbanas e variáveis utilizadas

Dimensão	Variáveis	Referência
Economia Inteligente	Salário, vínculos, homicídios, vulnerabilidade, qualidade educacional	Kumar; Dahiya (2017); Schatz; Johnson (2007); Yigitcanlar et al. (2022); ISO 37122:2019; Oh (2020); Ribeiro et al. (2022); Kawthalkar et al. (2020); Tupasela et al. (2023); Kolotouchkina et al. (2022)
Ambiente Natural	CO ₂	Blanck; Ribeiro (2021); Ma; Wu (2022); Xu; Wang; Zhu (2023); Hashmi et al. (2021); Guo; Wang; Dong (2022); Chatti; Khan (2024)
Pessoas	Vulnerabilidade, homicídios, feminicídio, latrocínio	Kawthalkar et al. (2020); Tupasela et al. (2023); Kolotouchkina et al. (2022); ISO 37122:2019; de Marco et al. (2015); Bencke et al. (2020); Katz; Wagner (2014); Amparán (2022); Santos et al. (2024)
Inovação & Tecnologia	Patentes	Dong et al. (2020); Blanck; Ribeiro (2021); Liu et al. (2024); Filiou et al. (2023); Guedes et al. (2022)
Governança	Índice de Governança Municipal (IGM)	Hoxha; Pallaska (2023); Blanck; Ribeiro (2021); Kummitha et al. (2024); Guo; Zhang; Zhang (2024)
Infraestrutura Urbana	Mortes no trânsito	Tarawneh; Alzyoud; Sharrab (2023); Goumiri; Yahiaoui; Djahel (2023).
Organizações	Patentes, salário	Dong et al. (2020); Blanck; Ribeiro (2021); Yigitcanlar et al. (2022); Liu et al. (2024); Filiou et al. (2023); Guedes et al. (2022)

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

As variáveis foram classificadas de acordo com as sete dimensões das cidades inteligentes. A classificação foi realizada de acordo com a literatura do campo de estudo. Cabe ressaltar que uma variável pode ser atribuída a mais de uma dimensão e, neste caso, cada variável foi vinculada àquela ou àquelas dimensões onde mais se destacava. A literatura de cidades inteligentes carece de estudos sobre feminicídios, mortes no trânsito, latrocínios e outros temas específicos. Nestes casos, optou-se por utilizar literatura sobre desenvolvimento urbano e econômico.

Como observado no Quadro 5, uma variável importante no contexto das cidades inteligentes é a emissão de dióxido de carbono (CO_2), que representa um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa e contribui significativamente para o aquecimento global. Ele é emitido principalmente pela queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) para a geração de energia e transporte, além de processos industriais e atividades agrícolas (Ma; Wu, 2022). A alta concentração de CO_2 na atmosfera tem consequências graves para o meio ambiente, incluindo o derretimento das calotas polares, o aumento do nível do mar e a alteração de padrões climáticos, o que pode causar eventos climáticos extremos, como secas, enchentes e tempestades (Xu; Wang; Zhu, 2023). Para mitigar esses efeitos, a literatura aponta que é essencial investir em energia renovável, transporte sustentável e soluções baseadas em Internet das Coisas e inteligência artificial para monitorar e reduzir emissões, garantindo um desenvolvimento urbano mais equilibrado e resiliente (Neffati et al., 2021).

Em uma cidade inteligente, o monitoramento e controle das emissões de CO_2 são prioritários, pois uma gestão eficaz do carbono contribui diretamente para a sustentabilidade urbana e o bem-estar da população, ajudando a reduzir a pegada de carbono da cidade e promovendo o uso de energias renováveis e soluções tecnológicas sustentáveis (Guo; Wang; Dong, 2022). Neste estudo, entende-se que quanto menor a emissão de CO_2 , maior será o desenvolvimento sustentável da cidade, com uma economia que investe em energias renováveis e infraestrutura verde. Em uma cidade inteligente, o uso de tecnologias para reduzir as emissões de CO_2 , como sistemas de transporte público elétrico, edifícios inteligentes com eficiência energética, e o incentivo à economia circular, é uma estratégia central para garantir um futuro mais sustentável e próspero (Chatti; Khan, 2024).

O *Índice de Governança Municipal* (IGM) é outra importante métrica utilizada para mensurar a qualidade da governança municipal, pois estabelece as diretrizes e processos necessários para a implementação eficaz de políticas públicas. Por meio de um modelo de governança colaborativa é possível integrar diferentes atores sociais, econômicos e políticos na tomada de decisões, promovendo um ambiente onde a participação cidadã é valorizada (Cooper; Cunningham; Bracken, 2023). Essa abordagem aumenta a transparência e a responsabilidade das ações governamentais e fortalece a confiança da população nas instituições públicas (Diaz-Sarachaga, 2025). Além disso, é por meio da implementação de práticas de governança que consideram aspectos ambientais, sociais e econômicos, que as cidades podem se tornar mais resilientes e adaptáveis às mudanças. A governança eficaz permite que as cidades integrem soluções inovadoras para problemas complexos, como mobilidade urbana, gestão de resíduos e eficiência energética. Ao alinhar os objetivos de

desenvolvimento com as necessidades da população e as capacidades tecnológicas disponíveis, a governança se torna um elemento central na construção de cidades inteligentes que oferecem qualidade de vida e sustentabilidade (Testi; Marconi; Pasher, 2025; Shen; Xu; Yuan, 2025).

Neste sentido, a variável Índice de Governança Municipal é uma métrica que avalia diversos aspectos da gestão local, incluindo a transparência, a eficiência administrativa, a qualidade dos serviços públicos, a participação cidadã e a capacidade de tomar decisões estratégicas para o bem-estar coletivo (CFA, 2025). Ela é um reflexo do desempenho da administração municipal na implementação de políticas públicas e no atendimento das necessidades da população, como infraestrutura urbana, saúde, educação e segurança (CFA, 2025). Em uma cidade inteligente, esse índice deve ser constantemente monitorado e aprimorado, buscando a construção de uma gestão pública eficaz, inclusiva e acessível para todos os cidadãos. Além disso, a governança inteligente não deve se limitar apenas ao uso de TICs, mas também envolver mudanças nas normas, políticas e práticas que garantem a participação ativa da população na gestão urbana, indicando uma abordagem colaborativa e inclusiva (Nesti; Graziano, 2020).

Outra importante variável, desta vez vinculada a dimensão Inovação & Tecnologia, é a variável *patentes*. As patentes são títulos de propriedade temporária concedidos pelo Estado que garantem ao inventor o direito exclusivo de explorar comercialmente uma invenção ou modelo de utilidade (Kalleya et al., 2023). Esse direito permite que o titular impeça terceiros de produzir, usar, vender ou importar a inovação sem sua autorização, promovendo assim a proteção da propriedade intelectual e incentivando a inovação. O processo de patenteamento envolve a divulgação detalhada da inovação, permitindo que outros possam entender e reproduzir a tecnologia, o que contribui para o avanço do conhecimento técnico na sociedade (SEBRAE, 2017).

A relação entre patentes e cidades inteligentes é significativa, pois as cidades dependem da implementação de soluções inovadoras em áreas como mobilidade, gestão de resíduos e eficiência energética, muitas das quais são protegidas por patentes (MCTI, 2025). As patentes são um reflexo direto do nível de P&D realizado no local, bem como do grau de incentivo à inovação. Cidades inteligentes devem investir na criação de um ambiente propício para a pesquisa científica, para o desenvolvimento tecnológico e para a proteção da propriedade intelectual, facilitando o processo de patenteamento e estimulando o empreendedorismo tecnológico (Guedes et al., 2022). Além disso, as patentes geradas refletem a capacidade de uma cidade em transformar conhecimento científico em produtos e serviços aplicáveis ao mercado, o que pode gerar novos empregos, atrair investimentos, fortalecer a economia local e

melhorar a qualidade de vida (Filiou et al., 2023). Em teoria, quanto maior o número de patentes geradas, maior é a capacidade da cidade de inovar e oferecer soluções tecnológicas para desafios urbanos. Assim, cidades inteligentes devem estimular o processo de inovação tecnológica em todas as suas formas, apoiando a pesquisa básica e aplicada, incentivando as *startups* e empresas de base tecnológica e criando um ambiente legal e economicamente favorável para a proteção da propriedade intelectual (Liu et al., 2024).

A variável *salário* representa um dos principais indicadores do nível de desenvolvimento econômico de uma cidade. Ele reflete o poder de compra dos cidadãos e está diretamente relacionada ao padrão de vida da população (Kumar; Dahiya, 2017). Em uma economia inteligente, a melhoria nos salários é vista como um reflexo de um mercado de trabalho eficiente e evidencia que a cidade está promovendo condições para o desenvolvimento de indústrias e setores inovadores. Isso inclui o estímulo ao empreendedorismo, à inovação e à criação de novos postos de trabalho, o que, por sua vez, eleva os salários médios.

O salário é uma variável crucial dentro da dimensão Organizações, pois está diretamente relacionado à capacidade de uma cidade de reter e atrair talentos qualificados. Cidades que oferecem salários competitivos, especialmente em setores-chave como tecnologia, saúde, engenharia e pesquisa, conseguem atrair profissionais altamente capacitados, que impulsionam a inovação e o crescimento econômico (Kumar; Dahiya, 2017). Além disso, um salário justo e condizente com o nível de qualificação e experiência dos trabalhadores é um fator importante para a qualidade de vida da população, garantindo que os cidadãos possam ter acesso a condições de vida adequadas, com acesso a bens e serviços essenciais (Yigitcanlar et al., 2022).

Em uma cidade inteligente, as instituições devem ser vistas como protagonistas do desenvolvimento. Isso significa que o governo local deve trabalhar em conjunto com empresas privadas, universidades e organizações não governamentais para criar políticas públicas que incentivem a inovação, a proteção da propriedade intelectual (como as patentes) e a valorização dos profissionais por meio de salários adequados. Organizações bem-sucedidas que promovem essas práticas contribuem para o avanço tecnológico, para a competitividade, e para a criação de uma sociedade mais equitativa e com melhores oportunidades de emprego e renda (Kumar; Dahiya, 2017).

A variável *vínculos*, por sua vez, é um reflexo da estabilidade e da segurança no mercado de trabalho. Ter vínculos formais, ou seja, empregos registrados e contratos de trabalho regulamentados, é um indicativo de uma economia mais estruturada e com maior formalização do trabalho (Schatz; Johnson, 2007). Uma cidade inteligente deve promover uma

economia com mais empregos formais e melhores condições de trabalho, a fim de aumentar a estabilidade e a confiança dos cidadãos e investidores. Quanto maior a proporção de vínculos formais no mercado de trabalho, mais segura e sustentável é a economia. Empregos formais garantem acesso a direitos trabalhistas, como aposentadoria e seguro-desemprego, além de contribuir para a arrecadação de impostos e a manutenção de serviços públicos essenciais. Esse fator é essencial para o crescimento econômico e a inclusão social (Yigitcanlar et al., 2022).

Outra variável urbana analisada neste estudo é a *vulnerabilidade*. Esta variável refere-se à condição de fragilidade social e econômica que afeta determinados grupos da população, como pessoas em situação de pobreza, com deficiência, idosos, minorias étnicas, entre outros. Ela é uma variável importante porque determina a capacidade de um indivíduo ou grupo de resistir a situações adversas, como violência, doenças ou exclusão social. Em uma cidade inteligente, a redução da vulnerabilidade está diretamente ligada a uma gestão pública eficiente e a políticas sociais que busquem integrar os mais vulneráveis à sociedade, proporcionando acesso a serviços essenciais como saúde, educação e segurança (Kolotouchkina et al., 2022).

A vulnerabilidade social e econômica está intimamente associada à pobreza, desigualdade e falta de acesso a oportunidades de desenvolvimento. Pessoas em situação de vulnerabilidade enfrentam maiores dificuldades para acessar emprego de qualidade, educação e saúde, fatores fundamentais para o crescimento econômico (Tupasela et al., 2023). Uma economia inteligente busca reduzir a vulnerabilidade por meio de políticas públicas inclusivas, como programas de qualificação profissional, incentivos ao empreendedorismo e políticas de redistribuição de renda (Kolotouchkina et al., 2022).

No que tange às variáveis associadas à violência, percebe-se que há poucas pesquisas que relacionam cidades inteligentes e a violência urbana, evidenciando uma lacuna no campo de estudo. Para a literatura existente, a relação entre as variáveis de violência (Khan et al., 2023) e o desenvolvimento de uma cidade inteligente é clara: quanto menores as taxas de violência, maior o nível de segurança e bem-estar na cidade, o que favorece o desenvolvimento social, econômico e cultural. Cidades inteligentes devem investir em segurança pública, mas também nas causas subjacentes da violência, como a desigualdade social, a educação, a infraestrutura urbana e a saúde mental (Khan et al., 2023). Essas melhorias reduzem as taxas de homicídios, feminicídios e outros crimes, e criam um ambiente mais seguro e acolhedor para todos os cidadãos (Pujol; Mora; Pertegal, 2020). Foram utilizadas as seguintes variáveis associadas a violência: *feminicídios*, *homicídios* e *latrocínios*. Também foi adicionada a variável *mortes no trânsito*, devido ao impacto dos acidentes no desenvolvimento urbano (CNT, 2021).

Os *feminicídios* se referem aos assassinatos de mulheres devido ao seu gênero, muitas vezes associados a questões de violência doméstica. Essa variável é crucial, pois reflete um aspecto específico da insegurança e desigualdade enfrentada por uma parcela importante da população. Em uma cidade inteligente, garantir a segurança das mulheres deve ser uma prioridade, pois uma sociedade que não protege seus membros mais vulneráveis não pode ser considerada plenamente desenvolvida ou equitativa (Amparán, 2022).

A segunda variável relacionada a violência urbana é a variável *homicídios*. Esta variável está relacionada à segurança pública e é amplamente utilizada para medir o nível de violência em uma determinada área (Feltran et al., 2022). A taxa de homicídios é um indicador claro do impacto da violência nas pessoas, nas famílias e na qualidade de vida urbana. Em uma cidade inteligente, a redução dos homicídios é essencial para garantir um ambiente seguro para todos os cidadãos, sem o temor constante de serem vítimas de crimes violentos (Kawthalkar et al., 2020).

Embora os *homicídios* sejam frequentemente associados à segurança, sua relação com a economia inteligente é importante. O nível de violência em uma cidade impacta diretamente a atratividade da localidade para investidores e empreendedores (Kawthalkar et al., 2020). Um ambiente seguro é essencial para o bom funcionamento da economia, pois a violência pode desencorajar novos investimentos, desmotivar o turismo e prejudicar as operações de empresas. Além disso, os homicídios refletem questões mais profundas de desigualdade social e qualidade de vida da população (Ribeiro et al., 2022).

De forma muito similar aos homicídios, os *latrocínios*, roubos seguidos de morte, comprometem diretamente o desenvolvimento urbano e a qualidade de vida dos cidadãos. Crimes dessa natureza geram um ambiente de medo e insegurança, reduzindo a confiança da população e limitando sua liberdade de circulação, o que afeta negativamente a vida cotidiana e o dinamismo econômico da região (Bonito et al., 2021). Em adição, altos índices de latrocínios desestimulam investimentos e prejudicam o setor produtivo, uma vez que empresas tendem a evitar regiões com elevados níveis de criminalidade, impactando a geração de empregos e o crescimento econômico. O turismo e o comércio local também são afetados, pois a insegurança reduz o fluxo de consumidores e visitantes (Santos et al., 2024). Do ponto de vista social, a recorrência desse crime agrava a sensação de vulnerabilidade e injustiça, aprofundando desigualdades e demandando maiores investimentos em segurança pública, políticas de prevenção à criminalidade e assistência às vítimas e suas famílias (Santos et al., 2024). Em uma cidade inteligente, o combate aos latrocínios é essencial para garantir um ambiente urbano seguro, inclusivo e propício ao desenvolvimento sustentável.

A variável *mortes no trânsito* é o último elemento relacionado a violência analisado neste estudo. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), as mortes no trânsito estão entre as principais causas de morte em muitas cidades brasileiras e têm impacto direto na segurança e na saúde pública. As altas taxas de mortes no trânsito indicam falhas nos sistemas de infraestrutura urbana, como sinalização, fiscalização e condições das vias (Palša et al., 2019). Uma cidade inteligente deve priorizar o desenvolvimento de políticas públicas e infraestruturas que protejam os cidadãos no trânsito, como melhorias no transporte público, em cicloviárias e campanhas de educação no trânsito (Tarawneh; Alzyoud; Sharrab, 2023).

Por fim, este estudo considera variáveis associadas à saúde: *número de médicos* e *número de leitos* do município. Estas variáveis são frequentemente analisadas em estudos econométricos porque estão diretamente relacionadas à oferta de serviços de saúde e seu impacto na economia e na qualidade de vida dos cidadãos. De acordo com Costa, Guerra e Leite (2022), a expansão da Atenção Primária à Saúde pode resultar em maior eficiência do sistema de saúde, redução de custos e aumento da equidade por meio da garantia de direitos à saúde. Em alguns estudos, o número de médicos aparece relacionado ao nível de progresso do país, desde que bem distribuídos regionalmente e de acordo com a densidade populacional (Silberman; Silberman, 2022).

Apesar de sua importância, frequentemente nota-se a ausência de médicos em regiões de mais difícil acesso do país e, até mesmo, em áreas periféricas das grandes cidades (Costa; Guerra; Leite, 2022). Apesar da importância de recursos técnicos e humanos na saúde pública, o setor raramente consta com os recursos adequados, o que acaba gerando serviços desiguais que prejudicam, em maior nível, as populações mais pobres (Oyola García, 2021). O mesmo ocorre com o número de leitos hospitalares disponíveis, que em muitas regiões são insuficientes para atender a população local. A indisponibilidade de recursos técnicos, de pessoal e financeiros é agravada e torna-se mais evidente frente emergências sanitárias como a recente Covid-19 (Costa et al., 2021). Isso é especialmente alarmante ao verificar que 75,8% da população brasileira não possui nenhum tipo de plano de saúde e depende exclusivamente do Serviço Único de Saúde (SUS), que possui apenas 197.230 leitos públicos (Cavalcanti; Wakim; de Magalhães, 2024; Bittar, 2024).

Em cidades inteligentes, o número de médicos e de leitos hospitalares está diretamente associado à qualidade de vida dos cidadãos, a eficiência dos serviços públicos e a sustentabilidade do sistema de saúde (Ajitha et al., 2022). Um bom acesso à saúde reduz a mortalidade, melhora a longevidade da população e garante atendimento rápido e eficiente, essencial para emergências e prevenção de doenças. Além disso, cidades inteligentes podem

fazer uso de big data, inteligência artificial e Internet das Coisas para prever demandas e otimizar a distribuição de médicos e leitos, garantindo um monitoramento em tempo real que indique áreas com maior necessidade de profissionais e infraestrutura hospitalar (Chen, 2022).

A distribuição equilibrada de médicos e leitos evita deslocamentos desnecessários, reduz a superlotação de hospitais e melhora a cobertura em áreas periféricas. A oferta adequada de serviços de saúde também é capaz de aumentar a produtividade da população, atrair investimentos, empresas e talentos qualificados, impulsionando a economia local (Jonek-Kowalska, 2022; Kuzior et al., 2022). Outro aspecto essencial é a resiliência a crises e emergências, pois uma infraestrutura hospitalar adequada permite respostas mais rápidas a epidemias, desastres naturais e crises sanitárias, garantindo que os recursos sejam alocados de forma estratégica (Zhou et al., 2021). Dessa forma, o número de médicos e leitos hospitalares se torna um pilar essencial para o planejamento e desenvolvimento de cidades inteligentes, promovendo bem-estar, desenvolvimento econômico e eficiência na gestão da saúde (Rohmah; Rachmawati; Mei, 2023).

2.5 EDUCAÇÃO EM CIDADES INTELIGENTES

Antes de tudo, cidades inteligentes são cidades, e a educação nestas cidades permanece sendo um desafio muito parecido ao desafio enfrentado pelas cidades tradicionais (Molnar, 2021). De acordo com Scala et al. (2024), a integração com tecnologias de ponta, como inteligência artificial, big data, computação em nuvem, *blockchain* e nanotecnologias, pode catalisar uma revolução educacional caracterizada pelo desenvolvimento de sistemas dinâmicos de gestão de ensino, ambientes de aprendizagem interativos e abordagens pedagógicas inovadoras capazes de revolucionar o sistema de ensino. Para isso, a gestão pública precisa investir no acesso universal à educação e às novas tecnologias (Scala et al., 2024).

A literatura evidencia que esforços estão sendo feitos, principalmente em conjunto com universidades, para desenvolver soluções inteligentes para o ensino de crianças, jovens e adultos em cidades inteligentes, por meio do desenvolvimento de competências de gestão para orquestradores urbanos (Tsoutsas et al., 2024; Woods et al., 2024; López-Baldominos et al., 2024), projetos que ensinam crianças sobre habilidades tecnológicas voltadas a sustentabilidade (Vicente et al., 2020), ensino sobre o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 11 – ODS 11, Cidades e Comunidades Sustentáveis – em sala de aula (Del Cerro; Rivas, 2020), ensino de engenharia por meio de projetos para cidades inteligentes e sustentáveis (Malheiro et al., 2019)

e estratégias de cocriação para criar soluções que amenizem as mudanças climáticas (Ribeiro et al., 2024).

Em algumas regiões do mundo a educação é planejada e gerida por meio de estratégias pedagógicas de alta qualidade. No contexto europeu, por exemplo, a implementação de programas escolares voltados à educação para a cidadania demonstra excelentes resultados, e o potencial dessa abordagem estabelece as bases para futuras iniciativas educacionais (Scala et al., 2024). No Brasil, a educação ainda é frequentemente vista apenas como o letramento formal ou como a formação para o mercado de trabalho (Santos et al., 2024), e há dificuldade em criar projetos para desenvolver novas habilidades, visto que 5,6% da população brasileira é analfabeta, e $\frac{1}{3}$ é analfabeto funcional, principalmente entre as populações mais pobres, negras e residentes em regiões periféricas (Rodrigues et al., 2023).

Estes são grandes desafios para as cidades inteligentes, que não raramente privilegiam determinados grupos e regiões da malha urbana (Yang et al., 2024). O mesmo ocorre quando um município distribui recursos de forma injusta entre a região urbana e a região rural, prejudicando o acesso dos residentes rurais a recursos básicos, como educação e saúde (Molnar, 2021). Assim, diversas questões perpetuam a desigualdade social em várias dimensões, principalmente a educacional, haja visto que esta pode se restringir aos interesses de determinada elite, depender da orientação política de cada governo ou sofrer os efeitos de políticas públicas insuficientes ou mal planejadas (Soares; Trindade; Dolzane, 2024). Neste contexto, as questões históricas e culturais podem reproduzir desigualdades estruturais e limitar o desenvolvimento equitativo das cidades inteligentes (Molnar, 2021).

Diante desses desafios, é essencial que as cidades inteligentes adotem estratégias integradoras e inclusivas para garantir uma educação que contemple as diversas realidades socioeconômicas e culturais. Um caminho promissor é o fortalecimento de políticas públicas que promovam a equidade educacional por meio da tecnologia (Romero-Yesa et al., 2023). A criação de plataformas educacionais digitais acessíveis e interativas pode ampliar o alcance do ensino, minimizando as barreiras geográficas e estruturais (Vicente et al., 2020).

Além disso, a colaboração entre governo, setor privado, universidades e sociedade civil pode acelerar a implementação de iniciativas educacionais inovadoras por meio da criação de projetos que desenvolvam habilidades essenciais, como pensamento crítico, criatividade e colaboração (Wolff; Wermelinger; Petre, 2019; Kasch et al., 2023). É importante que a educação não se restrinja a habilidades técnicas, devendo ser incorporados valores de cidadania, sustentabilidade e ética digital nos currículos escolares. Projetos baseados nos ODS, por exemplo, podem incentivar estudantes a pensarem criticamente sobre os desafios globais e a

proporem soluções inovadoras para suas comunidades (Del Cerro; Rivas, 2020; Maruna, 2019). Outro ponto crucial é a adequada formação de professores, capacitando-os para lidarem com novas tecnologias e abordagens pedagógicas (Soares; Trindade; Dolzane, 2024). Investimentos em treinamento contínuo e no acesso a recursos digitais são fundamentais para garantir que os educadores sejam agentes transformadores no processo de ensino.

Finalmente, para que os desafios sejam superados e as cidades inteligentes e seus cidadãos possam usufruir dos benefícios da educação, é preciso assegurar que haja qualidade educacional. De acordo com Surendran et al. (2024), é necessário oferecer aprendizagem individualizada, estratégias pedagógicas, avaliativas e metodológicas modernas para o aprimoramento e qualidade da aprendizagem.

Alguns autores defendem o uso de tecnologias como big data e data mining para melhorar a qualidade educacional por meio da gestão diária das escolas e do fortalecimento da aprendizagem autodirigida (Ge, 2020), ou para a criação de livros didáticos online, sistemas de aprendizagem baseados em nuvem, laboratórios virtuais, identificação pessoal de estudantes e conteúdo educacional aberto (Narkoziev et al., 2024). Outros autores, como Vafaeva et al. (2024), afirmam que a qualidade educacional é um dos maiores desafios das cidades inteligentes, e que a adoção de tecnologias digitais não é suficiente, sendo necessário a criação e atualização constante de políticas públicas que abordem questões urgentes e assegurem a qualidade de vida da população, ao mesmo tempo que aderem ao paradigma de cidades inteligentes. De acordo com Flach et al. (2022), as tecnologias não influenciam diretamente os indicadores educacionais, mas melhoram a governança fiscal, que por sua vez melhora os indicadores de educação. Isso indica a disponibilidade de recursos públicos para custeio de políticas públicas voltadas à qualidade de vida da população, inclusive no que tange a qualificação educacional de seus habitantes (Flach et al., 2022).

Percebe-se, por meio do acima posto, que existem divergências no que se refere a qualidade educacional e ao que uma cidade inteligente deve oferecer, enquanto cidade educadora, aos seus cidadãos. A seção seguinte tem como objetivo explicar o que se entende, no presente estudo, por qualidade educacional.

2.5.1 Qualidade Educacional

Para compreender o contexto educacional, é fundamental explorar a evolução do pensamento pedagógico brasileiro e sua influência nas práticas pedagógicas atuais. Um dos marcos fundamentais nesse percurso é a contribuição de Paulo Freire, considerado um dos

maiores educadores do Brasil e do mundo. Freire revolucionou a pedagogia ao propor uma abordagem crítica e libertadora para a educação, contrapondo-se aos modelos tradicionais que reproduzem relações de opressão e exclusão social (Freire, 1998). Nesta lógica, Freire critica o modelo no qual o professor é visto como o detentor exclusivo do conhecimento e os alunos como receptores passivos, defendendo que este modelo não promove a autonomia nem o pensamento crítico dos educandos. Ele defendeu uma educação dialógica e problematizadora, que valoriza o conhecimento prévio dos alunos e os coloca como sujeitos ativos no processo de aprendizagem (Freire, 1998).

Nas práticas pedagógicas atuais, a herança freiriana continua presente, inspirando muitos professores e gestores educacionais a adotarem abordagens inclusivas e participativas, que reconhecem a diversidade cultural e social dos estudantes (Quesada, 2021; Duarte, 2024). Além disso, o pensamento de Freire serve como base para debates sobre a educação como um instrumento de transformação social, fundamental em um país como o Brasil, marcado por profundas desigualdades (dos Santos et al., 2024). Na atualidade, os desafios relacionados às desigualdades socioeconômicas, raciais, regionais, digitais e de gênero permanecem impondo limitações quando o assunto é a qualidade educacional (Santos et al., 2024).

O contrário também é verdadeiro, quando há investimento em qualidade educacional, é possível obter resultados promissores. A literatura indica que aumentos nas despesas por aluno e a redução na proporção de alunos por professor afetam positivamente o desempenho em matemática e em ciências de estudantes entre 14 e 15 anos (Levacic et al., 2005). Em seu estudo, Steele et al. (2007) corroboram que um aumento de £ 1000 em despesas por aluno pode aumentar em 0,07 pontos em matemática e 0,2 em ciências, enquanto uma redução na proporção de alunos por professor melhoraria o rendimento das mesmas disciplinas em 0,12 e 0,13, respectivamente. Fatores individuais como cor/raça e sexo também influenciam o desempenho estudantil. A raça do aluno é frequentemente influenciada pela renda, que reflete acesso de melhor qualidade às pessoas brancas e, por consequência, melhor desempenho (Andrade, 2012). Estudos mostram, ainda, que existe uma relação positiva entre a renda dos pais e os resultados potenciais dos filhos em todas as regiões do Brasil (Melo; Arakawa, 2012).

Para além das características dos indivíduos, as características próprias das cidades, como tamanho do município, distribuição de renda da população, percentual da população vivendo em área urbana e a presença ou ausência de infraestrutura básica são fatores determinantes que podem impactar significativamente a forma como os recursos são alocados (Molnar, 2021). Essas variáveis também influenciam diretamente a maneira como a inteligência urbana é planejada, implementada e gerida, considerando aspectos como conectividade,

acessibilidade, mobilidade urbana, sustentabilidade ambiental e inclusão social (Belaïd; Arora, 2024). Neste sentido, a qualidade educacional está fortemente relacionada com as demais dimensões urbanas, uma vez que para promover a educação libertadora proposta por Freire, é necessário que os indivíduos tenham supridas suas necessidades básicas e tenham qualidade de vida, especialmente em cidades que buscam se tornar cidades inteligentes (Panagiotopoulos et al., 2024; Santosa; Supangkat; Arman, 2024).

No Brasil, a qualidade educacional pode ser mensurada por meio de um conjunto de fatores, dentre os quais destacam-se a influência do capital econômico, social e cultural das famílias, às políticas públicas e programas compensatórios, a gestão e a organização do trabalho escolar, formação inicial e continuada de qualidade, motivação e valorização profissional dos professores, políticas para garantir acesso universal à educação básica e secundária, e avaliações que identifiquem problemas e promovam soluções para melhorar a aprendizagem (Inep, 2006; Soares et al., 2023). Soares (2004) argumenta que a qualidade educacional pode ser reunida em três categorias: características individuais dos alunos, da escola e da família. O Quadro 6 apresenta as dimensões e indicadores subjetivos da qualidade educacional no ensino fundamental e médio.

Quadro 6 - Dimensões e indicadores subjetivos da qualidade educacional

Dimensão	Indicadores subjetivos de qualidade
1. Ambiente Educativo/ As relações na escola	1. Amizade e solidariedade 2. Alegria 3. Respeito ao outro 4. Combate à discriminação 5. Disciplina e tratamento adequado aos conflitos que ocorrem no dia a dia da escola 6. Respeito aos direitos das crianças e dos adolescentes
2. Prática e proposta pedagógica	1. Proposta pedagógica definida e conhecida por todos 2. Planejamento 3. Contextualização 4. Variedade das estratégias e dos recursos de ensino-aprendizagem 5. Incentivo à autonomia e ao trabalho coletivo 6. Prática pedagógica inclusiva
3. Avaliação	1. Monitoramento do processo de aprendizagem dos alunos 2. Mecanismos de avaliação dos alunos 3. Participação dos alunos na avaliação de sua aprendizagem 4. Avaliação do trabalho dos profissionais da escola 5. Acesso, compreensão e uso dos indicadores oficiais de avaliação da escola e das redes de ensino
4. Gestão escolar democrática	1. Informação democratizada 2. Conselhos escolares atuantes 3. Participação efetiva de estudantes, pais, mães e comunidade em geral 4. Parcerias locais e relacionamento da escola com os serviços públicos 5. Tratamento aos conflitos que ocorrem no dia a dia da escola

	6. Participação da escola no Programa Dinheiro Direto na Escola 7. Participação em outros programas de incentivo à qualidade da educação do governo federal, dos governos estaduais ou municipais
5. Formação e condições de trabalho dos profissionais da escola	1. Habilitação 2. Formação continuada 3. Suficiência da equipe escolar 4. Assiduidade da equipe escolar 5. Estabilidade da equipe escolar
6. Ambiente físico escolar	1. Suficiência do ambiente físico escolar 2. Qualidade do ambiente físico escolar 3. Bom aproveitamento do ambiente físico escolar
7. Acesso, permanência e sucesso na escola	1. Número total de falta dos alunos 2. Abandono e evasão 3. Atenção aos alunos com alguma defasagem de aprendizagem 4. Atenção às necessidades educativas da comunidade
8. Tamanho da escola	1. Escola de porte médio. 2. Número reduzido de alunos por professor possibilitando o atendimento individualizado, conforme as apoio para garantir a escola necessidades de cada criança 3. Funcionários sem sobrecarga de trabalho e atuando em um ambiente favorável e motivador
9. Perfil do aluno	1. Alunos provenientes de famílias com condições socioculturais e econômicas favoráveis à aprendizagem 2. Alunos motivados para a aprendizagem
10. Destino dos egressos	1. Aprovação no vestibular 2. Bons resultados em teste, tanto nos sistemas de avaliação governamental quanto nos concursos em que os alunos participam 3. Boa aceitação dos egressos no mercado de trabalho
11. Equipamentos	1. Distribuição gratuita de material didático/pedagógico 2. Biblioteca bem equipada e a existência de farto material pedagógico 3. Material didático de qualidade 4. Escola com estrutura física e material adequado 5. Transporte escolar para crianças da zona rural 6. Escola adaptada aos alunos com necessidades especiais
12. Recursos financeiros	1. Descentralização das atividades administrativas no interior da escola 2. Transparência da aplicação dos recursos financeiros 3. Quantidade de recursos transferidos da administração pública para a escola gerenciar
13. A relação do aluno com a escola	1. O aluno gosta de ir à escola. 2. Alunos motivados para os estudos. 3. Ambiente escolar agradável para que o aluno possa se sentir estimulado. 4. Organização estudantil. 5. Participação dos alunos nas atividades extracurriculares promovidas pela escola
14. A escolha da escola	1. Existe teste de seleção 2. Existe lista de espera 3. A escola atende alunos de diversas regiões da cidade e de cidades vizinhas
15. Ensino e aprendizagem da leitura e da escrita	1. Orientações para a alfabetização inicial implementadas 2. Existência de práticas alfabetizadoras na escola 3. Atenção ao processo de alfabetização de cada criança 4. Ampliação das capacidades de leitura e escrita dos alunos ao longo do ensino fundamental

	5. Acesso e bom aproveitamento da biblioteca, salas de leitura e sala de aula, dos equipamentos de informática e da internet 6. Existência de ações integradas entre a escola e toda a rede de ensino para favorecer a aprendizagem da leitura e da escrita
16. Trajetórias de vida, estudos e trabalho	1. Respeito e acolhimento de estudantes trabalhadores/as 2. Reflexão e preparação para o mundo do trabalho 3. Educação para superação das desigualdades no mundo do trabalho 4. Perspectivas e possibilidades de continuidade dos estudos e qualificação profissional 5. Estímulo à circulação juvenil pela cidade, pelo campo e pela região 6. Apoio às jovens mães e aos jovens pais 7. Formação crítica para o consumo consciente e construção de uma perspectiva sustentável

Fonte: Elaborado pela autora (2025) com base em Inep² e Unicef³ (2004, 2013), Inep (2006) e Unicef (2007).

As sete (7) primeiras dimensões de qualidade educacional foram estabelecidas em 2004 no relatório “Indicadores da Qualidade na Educação” elaborado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep) em parceria com o Fundo das Nações Unidas para a Infância (Unicef). Na “Pesquisa Nacional Qualidade na Educação” (Inep, 2006) foram categorizadas outras sete (7) dimensões e 25 novos indicadores de qualidade na educação. A dimensão ‘Ensino e aprendizagem da leitura e da escrita’ foi adicionada a partir do relatório “Indicadores da Qualidade na Educação: Ensino Fundamental” da Unicef e Inep (2013). Por fim, a dimensão ‘Trajetórias de vida, estudos e trabalho’ foi verificada no Relatório “Indicadores de Qualidade de vida no ensino médio” do Fundo das Nações Unidas (Unicef, 2007).

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional 13.415/2017 (LDB, 2017), divide as obrigações do sistema educacional em quatro níveis: federal, estadual, municipal e estabelecimento de ensino. No Quadro 7 foram discriminados os Artigos da LDB que versam sobre a qualidade educacional ou sobre algum dos indicadores de qualidade apresentados no Quadro 6.

² Inep - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

³ Unicef - Fundo das Nações Unidas para a Infância.

Quadro 7 - Diretrizes para a educação de qualidade

Nível de controle	Diretrizes para a educação de qualidade
Nível Federal	Art. 9º IV – Estabelecer, em colaboração com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, competências e diretrizes para a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio, que nortearão os currículos e seus conteúdos mínimos, de modo a assegurar formação básica comum; VI – Assegurar processo nacional de avaliação do rendimento escolar no ensino fundamental, médio e superior, em colaboração com os sistemas de ensino, objetivando a definição de prioridades e a melhoria da qualidade do ensino; IX – Autorizar, reconhecer, credenciar, supervisionar e avaliar, respectivamente, os cursos das instituições de educação superior e os estabelecimentos do seu sistema de ensino.
Nível Estadual	Art. 10º II – Definir, com os Municípios, formas de colaboração na oferta do ensino fundamental, as quais devem assegurar a distribuição proporcional das responsabilidades, de acordo com a população a ser atendida e os recursos financeiros disponíveis em cada uma dessas esferas do Poder Público; VI – Assegurar o ensino fundamental e oferecer, com prioridade, o ensino médio a todos que o demandarem.
Nível Municipal	Art. 11º II – Exercer ação redistributiva em relação às suas escolas; V – Oferecer a educação infantil em creches e pré-escolas, e, com prioridade, o ensino fundamental, permitida a atuação em outros níveis de ensino somente quando estiverem atendidas plenamente as necessidades de sua área de competência e com recursos acima dos percentuais mínimos vinculados pela Constituição Federal à manutenção e desenvolvimento do ensino.
Estabelecimento de ensino	Art. 12º I – Elaborar e executar sua proposta pedagógica; II – Administrar seu pessoal e seus recursos materiais e financeiros; III – assegurar o cumprimento dos dias letivos e horas-aula estabelecidas; IV – Velar pelo cumprimento do plano de trabalho de cada docente; V – Prover meios para a recuperação dos alunos de menor rendimento; VI – Articular-se com as famílias e a comunidade, criando processos de integração da sociedade com a escola.

Fonte: Elaborado pela autora (2025) com base na LDB 13.415/2017.

Como observado, cada nível tem suas atribuições específicas, que visam garantir a qualidade do ensino em diferentes esferas. No nível federal, destacam-se diretrizes como a colaboração com os Estados e Municípios para o estabelecimento de competências e currículos, além da avaliação nacional do rendimento escolar e da supervisão das instituições de educação superior. Nos níveis estadual e municipal, as responsabilidades envolvem desde a definição de formas de colaboração para a oferta do ensino fundamental até a atuação redistributiva das escolas e a garantia da oferta de educação infantil e ensino fundamental. Por fim, os estabelecimentos de ensino devem elaborar sua proposta pedagógica, administrar seus recursos

e assegurar o cumprimento dos dias letivos, além de articular-se com as famílias e a comunidade para integrar a sociedade à escola.

A educação em cidades inteligentes deve ir além da simples incorporação de tecnologia, buscando promover um ensino dinâmico e acessível para todos. A utilização de inteligência artificial, big data e computação em nuvem, por exemplo, pode potencializar novos modelos pedagógicos e tornar o aprendizado mais interativo e personalizado (Scala et al., 2024). No entanto, a implementação dessas inovações ainda enfrenta desafios estruturais, como a desigualdade no acesso à educação e a carência de políticas públicas que garantam a inclusão digital (Molnar, 2021). Para que os benefícios das cidades inteligentes sejam efetivos, é essencial investir na formação docente, na democratização das tecnologias educacionais e no desenvolvimento de metodologias que atendam às necessidades de diferentes perfis de alunos (Soares; Trindade; Dolzane, 2024).

A equidade na distribuição dos recursos educacionais também deve ser uma prioridade nas cidades inteligentes, pois, sem esse cuidado, a tecnologia pode acabar ampliando as desigualdades já existentes (Yang et al., 2024). Em muitas localidades, o acesso à educação ainda é influenciado por fatores socioeconômicos, como renda familiar e infraestrutura urbana inadequada, o que compromete a formação de crianças e jovens em situação de vulnerabilidade (Rodrigues et al., 2023). Iniciativas voltadas à inclusão digital, à sustentabilidade e à formação cidadã podem contribuir para mitigar essas desigualdades e proporcionar uma educação mais democrática e eficiente (Vicente et al., 2020). Além disso, a cooperação entre setor público, universidades e empresas pode impulsionar o desenvolvimento de projetos educacionais inovadores, garantindo que as cidades inteligentes sejam socialmente inclusivas (Romero-Yesa et al., 2023).

Para além das obrigações do sistema público de educação, a Organização das Nações Unidas (ONU, 2025a) definiu a qualidade educacional como meta por meio do ODS 4. Esta meta determina que até 2030 todas as meninas e meninos possam completar o ensino fundamental e médio de forma equitativa e com qualidade, com resultados satisfatórios e relevantes de aprendizagem. Entretanto, mensurar os resultados é uma tarefa árdua pois, como informado pelo Inep (2004, 2006), os indicadores da qualidade educacional são, em sua maioria, qualitativos e subjetivos, ou seja, de difícil mensurabilidade.

Devido à dificuldade de mensurar a qualidade educacional, foram criadas ferramentas que auxiliam o processo de avaliação do Plano Nacional de Educação (PNE) (de Souza, 2021; PNE, 2014). O PNE estabelece metas, diretrizes e estratégias para a educação no Brasil e tem como objetivo melhorar a qualidade da educação em todos os níveis de ensino. Estas

ferramentas permitem mensurar o conhecimento dos estudantes em determinado nível. Dentre as principais ferramentas do Plano Nacional de Educação destacam-se o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), o Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (Enade) e o Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb) (Werle, 2011; PNE, 2014).

No Brasil, o Enem é uma das principais ferramentas para avaliar a qualidade do ensino. A prova avalia o conhecimento dos estudantes do ensino médio para ingressarem em cursos de nível superior. Uma boa nota no Enem permite que os participantes ingressem em universidades públicas ou privadas por meio de programas como o Sistema de Seleção Unificada (SISU), o Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior (FIES) e o Programa Universidade para Todos (Prouni). Neste sentido, o Enem é uma das principais portas de acesso ao ensino superior no Brasil, ao mesmo tempo que está diretamente relacionado ao conhecimento obtido pelos estudantes no ensino médio (de Souza, 2021).

Neste estudo, a utilização da nota do Enem como *proxy* para qualidade educacional se justifica por ser um indicador amplamente reconhecido e padronizado em nível nacional, permitindo comparações consistentes entre os municípios. O Enem avalia a aprendizagem adquirida no ensino básico, refletindo, em grande medida, a eficácia dos sistemas educacionais locais (de Souza, 2021). Além disso, sua abrangência e relevância no contexto brasileiro fazem dele uma métrica acessível e confiável para inferir sobre o desempenho educacional em diferentes contextos (de Medeiros; Sodré Neto, 2018; Rocha; Ferreira, 2020). Com base nisso, foi proposta as seguintes hipóteses de pesquisa, nula e alternativa:

H1₀: A qualidade educacional, baseada nas notas do Enem, não exerce influência significativa no desenvolvimento de cidades inteligentes.

H1₁: A qualidade educacional, baseada nas notas do Enem, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Se os resultados da pesquisa indicarem que a qualidade educacional contribui de forma significativa para o desenvolvimento de cidades inteligentes, então H1₀ será refutada e H1₁ será aceita. Por outro lado, se os dados não apresentarem evidências suficientes para confirmar essa relação, então H1₀ não será refutada, o que significa que não há comprovação estatística de que a qualidade educacional impacta significativamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.

As notas do Enem não discriminam, no entanto, se os resultados obtidos por meio do teste, sejam notas baixas ou altas, são fruto de investimentos e ações municipais, estaduais ou federais. Tampouco é o objetivo deste trabalho aprofundar-se nesta questão. No entanto,

estudos futuros podem se debruçar sobre a origem dos investimentos e das políticas públicas e compreender como cada esfera pública contribui para a qualidade educacional e, por consequência, para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Para assegurar o uso de indicadores abrangentes e aumentar a robustez da análise, optou-se em adicionar, além das notas do Enem, outros indicadores de qualidade educacional. Assim, de acordo com o Quadro 6, foram selecionadas variáveis cujos dados estão disponíveis no site do Inep, são elas: taxa de abandono escolar, média de alunos por turma, média de horas-aula diária, taxa de distorção idade-série, taxa de aprovação, adequação da formação docente e regularidade do corpo docente.

O abandono escolar é responsável por consequências de longo prazo, como analfabetismo, desemprego, baixos salários, trabalho infantil, problemas de saúde mental e envolvimento em atividades criminosas (Paul; Rashmi; Srivastava, 2021). No Brasil, fatores como gravidez na adolescência e a inserção precoce no mercado de trabalho motivada pela necessidade de colaborar com a renda familiar, estão entre os principais motivadores do abandono escolar (Cruz et al., 2021). Como consequência, a falta de um diploma de ensino médio limita as oportunidades de emprego, frequentemente levando os jovens a ocupações de baixa remuneração e instabilidade financeira (Ferreira; Ribeiro; Tafner, 2022). Além disso, o abandono escolar está associado a problemas sociais mais amplos, como aumento da criminalidade e dependência de programas de assistência social. Estudos indicam que o Brasil perde cerca de R\$ 220 bilhões anualmente devido à evasão escolar, por meio de investimento público em educação que não é recuperado e reverbera em outras dimensões como retornos salariais menores, problemas com segurança pública e menor consumo ao longo da vida (Ferreira; Ribeiro; Tafner, 2022).

Apesar dos esforços públicos, o abandono escolar permanece um desafio significativo no contexto educacional brasileiro, estando presente em diferentes ambientes, modalidades e etapas de ensino (do Nascimento; Fagundes; de Souza, 2022). Governos vêm dedicando esforços para reduzir as taxas de abandono escolar e os impactos educacionais, pessoais e profissionais causados, no entanto, poucos resultados são observados (Sarrazin; Fontanella; Di Zio, 2019). Consequentemente, o abandono escolar é um grave problema que pode dificultar o avanço de cidades inteligente por meio do analfabetismo, desemprego e mão de obra pouco qualificada, o que acarreta desigualdades socioeconômicas (Abrha et al., 2022) que fomentam a pobreza, a violência, a criminalidade e a insegurança de uma parcela da população (Adisa, 1994; Ifediora, 2021). Cidades que enfrentam altos índices de evasão escolar tendem a sofrer com a perpetuação da pobreza, da desigualdade e da criminalidade, o que impacta diretamente

a qualidade de vida dos seus habitantes e a capacidade de atrair investimentos. Isso gera um ônus financeiro para as cidades, que precisam alocar mais recursos em segurança pública e assistência social em vez de investir em infraestrutura e inovação. Portanto, promover políticas eficazes para reduzir a evasão escolar é essencial para garantir que as cidades inteligentes possam prosperar e se desenvolver de maneira inclusiva e sustentável (Oliveira; Grin, 2023; Ramos; Gonçalves, 2024). Com base nisso, foram propostas as seguintes hipóteses de pesquisa:

H2₀: A qualidade educacional, representada pelo índice de abandono escolar, não influencia significativamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.

H2₁: A qualidade educacional, representada pelo índice de abandono escolar, afeta negativamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Espera-se confirmar a hipótese alternativa (H2₁), ou seja, que a qualidade educacional, representada pelo índice de abandono escolar, tem um impacto negativo no desenvolvimento de cidades inteligentes.

A adequação da formação docente é outra variável importante que deve ser observada pois está relacionada a adequação dos professores a ministrarem disciplinas em suas respectivas áreas de formação. No estudo de Bethônico e Neto (2024), foram analisados 8.478 cadastros de professores no Programa Nacional de Formação de Professores da Educação Básica (PARFOR), cujos resultados indicaram que 32,48% da amostra docente está adequada a disciplina em que leciona, enquanto 64,08% dos docentes estão adequados à área curricular em que estão cadastrados. Isso significa que 35,98% dos docentes da educação básica, no período analisado, não atuavam sequer em suas áreas. Uma das consequências desta conjuntura é a evasão da docência, causando escassez de professores com formação adequada em atuação em escolas de educação básica (da Rosa; Moraes, 2021).

Reconhecer o papel central dos educadores na formação das novas gerações e, neste contexto, no desenvolvimento de cidades inteligentes, é imprescindível para discutir as dinâmicas urbanas e para atender ao ODS 4 – Educação de Qualidade (Adel; Alani, 2024). Em seu estudo, Saini et al. (2022) aponta que as métricas educacionais estão interconectadas e que melhorias em um indicador de qualidade educacional podem influenciar positivamente em outros, sugerindo um efeito sinérgico no sistema educacional. No contexto das cidades inteligentes, a qualidade educacional, no que tange a prática pedagógica e a adequação da formação docente, desempenha papel fundamental no âmbito do ODS 4, onde os professores atuam como agentes de inclusão e equidade, facilitadores do conhecimento e intervenientes cruciais na promoção do desenvolvimento sustentável, capazes de formar gerações bem-

educadas, mas também profundamente conscientes e engajadas com questões sociais (Adel; Alani, 2024). Com base nisso, foram propostas as seguintes hipóteses de pesquisa:

H3₀: A qualidade educacional, representada pela adequação da formação docente, não influencia significativamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.

H3₁: A qualidade educacional, representada pela adequação da formação docente, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Espera-se confirmar a hipótese alternativa (H3₁), ou seja, que a qualidade educacional, representada pela adequação da formação docente, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

De acordo com a literatura, outro fator que influencia as condições de trabalho nas escolas é a média de alunos por turma, pois turmas maiores podem prejudicar a docência e o desempenho dos alunos (Crahay, 2007). De acordo com o modelo de regressão de Bezerra et al. (2020), quanto menor a turma, maior será seu rendimento; os autores recomendam que aumentem os investimentos em escolas públicas com a finalidade de aumentar o número de turmas e diminuir o número médio de alunos por turma, a fim de aumentar a taxa de rendimento e o aprendizado dos alunos. Para Moraes (2023), apesar de o tamanho das turmas contribuir para a melhoria dos ambientes escolares, a redução generalizada, por si só, não contribui para a melhoria da aprendizagem, sendo necessárias outras medidas complementares para qualificar o ensino, como formação docente adequada, organização do trabalho pedagógico e dos currículos, desenvolvimento de projetos de enriquecimento curricular, combate ao abandono escolar, suporte aos estudantes e políticas de avaliação educacional. Em contrapartida, Stedman (2001) defende que o tamanho das turmas não influencia o rendimento escolar e que a pressão para reduzir as turmas pode gerar, inclusive, um efeito controverso, como a pressão para contratar professores pouco qualificados para atender mais turmas.

De forma geral, a influência da turma sobre a qualidade educacional é uma questão até certo ponto controversa. Pais de determinado nível socioeconômico podem escolher turmas menores para matricular seus filhos, ou escolas podem optar por alocar alunos com dificuldades em turmas específicas (menores, por exemplo). Assim, para avaliar a contribuição do tamanho da turma para o rendimento escolar, é necessário que haja endogeneidade no tamanho da turma, ou seja, que esta variável não esteja influenciada por outras, como o nível socioeconômico, para que não gere viés (de Mello et al., 2007).

Snyder (2021), defende que ensinar algumas habilidades de cidades inteligentes, como ciência de dados, em turmas grandes pode ser desafiador. O autor defende a necessidade de

turmas menores para ensinar os alunos a operarem tecnologias digitais e a resolverem projetos complexos baseados em problemas reais. Em contrapartida, para Chimbi e Jita (2021) o desenvolvimento dos professores é uma estratégia mais viável e econômica do que a construção de mais escolas e a redução do número de alunos por turma. Para os autores, deve-se priorizar investimentos em capacitação dos professores para fortalecer a implementação eficaz das estratégias pedagógicas. Considerando a média de alunos por turma como *proxy* da qualidade educacional, foram propostas as seguintes hipóteses, nula e alternativa:

H4₀: A qualidade educacional, representada pelo número médio de alunos por turma, não exerce influência significativa no desenvolvimento de cidades inteligentes.

H4₁: A qualidade educacional, representada pelo número médio de alunos por turma, contribui negativamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Neste caso, espera-se comprovar a hipótese alternativa (H4₁), ou seja, que a qualidade educacional, representada pelo número médio de alunos por turma, contribui negativamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

A média de horas-aula diária é outro importante indicador de qualidade educacional. A Constituição Brasileira (Brasil, 1988) classifica a educação como o primeiro direito social que deve ser assegurado de forma gratuita a todos os cidadãos, abrangendo desde o ensino fundamental, que é responsabilidade da esfera municipal, até o ensino médio, sob responsabilidade das unidades federativas. No Brasil, o Plano Nacional de Educação (PNE) estabelece a oferta de jornada escolar integral (com no mínimo 7 horas) em, no mínimo, 50% das escolas públicas. No entanto, a média de horas-aula no país é de 4,5 horas diárias, sendo que apenas 38% das escolas possuem atendimento integral (De Souza; Parente, 2023).

De acordo com Cappelarri et al. (2023), quanto mais tempo os alunos passam em atividades de aprendizagem estruturadas, maiores as chances de adquirirem conhecimentos e habilidades. Isso é especialmente válido em cidades inteligentes, cujas competências esperadas incluem conhecimentos técnicos associados a tecnologias digitais, e habilidades sociocomportamentais, relacionadas a comunicação, criatividade, colaboração, pensamento crítico, entre outras (Woods et al., 2024; Kasch et al., 2023).

Além disso, a educação é um dos principais meios de promover o desenvolvimento e o crescimento econômico de uma comunidade e de combater desigualdades regionais e sociais (de Sousa et al., 2021). Gestores públicos e formuladores de políticas públicas devem estar atentos ao potencial da educação de fomentar a cidadania, influenciar o bem-estar da população e gerar desenvolvimentos em âmbito local e nacional (Graupner; Hein; Hein, 2024). É devido

seu potencial de influenciar o ensino e desenvolver habilidades e competências, que a média de horas-aula diária foi escolhida como *proxy* de qualidade educacional. Assim, foram propostas as seguintes hipóteses, nula e alternativa:

H5₀: A qualidade educacional, medida pela média de horas-aula diária, não exerce influência significativa no desenvolvimento de cidades inteligentes.

H5₁: A qualidade educacional, medida pela média de horas-aula diária, afeta positivamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Espera-se confirmar a hipótese alternativa (H5₁), ou seja, que a qualidade educacional, medida pela média de horas-aula diária, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Outro importante indicador de qualidade educacional é a regularidade do corpo docente. No Brasil existem cerca de dois milhões de professores para atender aos 51 milhões de alunos da escola básica, sendo 80% atuantes no setor público (Barreto, 2015). No entanto, o setor enfrenta um problema associado à rotatividade do corpo docente. A regularidade docente refere-se à permanência dos docentes em determinada escola. Parte-se do princípio de que altas taxas de rotatividade do corpo docente produzem problemas organizacionais que prejudicam a coesão entre os docentes, podendo influenciar no projeto pedagógico e prejudicar o processo de ensino-aprendizagem por meio das descontinuidades do processo pedagógico (Saraiva, 2023).

Em cidades inteligentes é importante buscar soluções para os problemas de rotatividade por meio de qualificação e valorização da carreira docente. Os profissionais da educação desempenham um papel fundamental na construção do conhecimento e no desenvolvimento de habilidades socioemocionais, técnicas e de sustentabilidade, essenciais no contexto das cidades inteligentes, especialmente para a redução de desigualdades sociais e educacionais (Wolff; Wermelinger; Petre, 2019). Garantir uma infraestrutura física de qualidade (Fernandes; Passador, 2023) e uma base sólida de conhecimentos pedagógicos e metodológicos também é imprescindível para que os docentes possam planejar e executar aulas mais eficazes, utilizando estratégias de ensino e avaliação adaptadas às necessidades dos alunos (Souza; Martins Filho; Martins, 2020). Assim, entende-se que a regularidade do corpo docente é um indicador de qualidade educacional que afeta positivamente o desenvolvimento de cidades inteligentes. Com base nisso, e considerando a regularidade do corpo docente como *proxy* de qualidade educacional, propõe-se a seguinte hipótese nula:

H6₀: A qualidade educacional, representada pela regularidade do corpo docente, não tem impacto significativo sobre o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Para a qual têm-se a seguinte hipótese alternativa:

H6₁: A qualidade educacional, representada pela alta regularidade do corpo docente, tem relação positiva com o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Espera-se confirmar a hipótese alternativa (H6₁), ou seja, que a qualidade educacional, representada pela alta regularidade do corpo docente, tem um impacto positivo no desenvolvimento de cidades inteligentes.

No Brasil, a educação básica se organiza em três etapas que, por sua vez, estão associadas a faixas etárias recomendadas como ideais para cursá-las. Quando o aluno se encontra cursando determinado ano escolar com uma idade acima da esperada, entende-se que ocorreu uma distorção idade-série (Noronha et al., 2023). Devido ao impacto desta distorção no desenvolvimento acadêmico, emocional e social dos estudantes, esta variável foi adicionada como *proxy* de qualidade educacional.

O fenômeno distorção idade-série pode ser resultado de reprovação, evasão escolar, falta de acesso à educação na idade adequada ou dificuldades de aprendizado não atendidas (Barros et al., 2023). No aspecto emocional e social, alunos neste quadro podem sofrer com baixa autoestima, sentimentos de exclusão e dificuldades na socialização com colegas de idade diferente. Isso pode gerar desinteresse pelo aprendizado e maior vulnerabilidade a problemas como *bullying* e discriminação (Nogueira; Silva, 2022). Em termos de desenvolvimento profissional e econômico, a distorção idade-série pode atrasar a entrada no mercado de trabalho e reduzir as oportunidades de emprego, impactando a renda futura do indivíduo e o desenvolvimento socioeconômico do país (Araújo; Frio; Alves, 2021). Portanto, este problema está diretamente associado ao desenvolvimento de cidades inteligentes, e combatê-lo exige políticas educacionais voltadas à recuperação da aprendizagem, à personalização do ensino e à oferta de suporte socioemocional para garantir que todos os alunos tenham condições de avançar de forma adequada na escolarização. Neste estudo, entende-se que elevadas taxas de distorção idade-série afetam negativamente o desenvolvimento de cidades inteligentes. Com base nisso, foram propostas as seguintes hipóteses, nula e alternativa:

H7₀: A qualidade educacional, representada pela distorção idade-série, não exerce influência significativa sobre o desenvolvimento de cidades inteligentes.

H7₁: A qualidade educacional, quando mensurada pela distorção idade-série, contribui negativamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Por fim, outro indicador de qualidade educacional estabelecido neste estudo é a taxa de aprovação. A taxa de aprovação representa o montante médio de alunos que permaneceram na série durante todo o ano letivo e obtiveram aprovação com base na nota média da escola. A desaprovação ocorre quando os alunos não alcançam a frequência mínima estabelecida em lei ou seus resultados de aprendizagem ficaram abaixo da média (Noronha et al., 2023).

A taxa de aprovação dos alunos na educação básica impacta diretamente o desenvolvimento de cidades inteligentes, pois influencia a formação de uma população mais qualificada, inovadora e preparada para os desafios tecnológicos e sociais. Quando há altos índices de aprovação aliados a um ensino de qualidade, os estudantes progridem sem interrupções, reduzindo a distorção idade-série e fortalecendo a base educacional necessária para a inserção em empregos qualificados e no desenvolvimento de novas soluções para a cidade (Seabra; Cândido, 2020). Além disso, uma educação eficiente contribui para a redução da evasão escolar, diminuindo problemas sociais como desemprego e criminalidade, que podem comprometer o crescimento sustentável das cidades (Glewwe; Kassouf, 2008).

Cidades inteligentes dependem de cidadãos capacitados para lidar com inovação, governança digital e sustentabilidade, tornando essencial o investimento em políticas educacionais que garantam altas taxas de aprovação com aprendizado efetivo, promovendo, assim, um ciclo positivo de desenvolvimento econômico, social e tecnológico (Panagiotakopoulos et al., 2024). Neste estudo, entende-se que quanto maior a taxa de aprovação dos estudantes do ensino básico, maior o desenvolvimento da cidade inteligente. Com base na literatura, este estudo faz uso da variável taxa de aprovação como *proxy* para qualidade educacional. Foram então compostas as seguintes hipóteses, nula e alternativa:

H8₀: A qualidade educacional, quando mensurada pela taxa de aprovação dos estudantes, não exerce influência significativa sobre o desenvolvimento de cidades inteligentes.

H8₁: A qualidade educacional, quando mensurada pela taxa de aprovação dos estudantes, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Espera-se confirmar a hipótese alternativa (H8₁), ou seja, que a qualidade educacional, quando mensurada pela taxa de aprovação dos estudantes, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Se essa hipótese for confirmada, isso sugere que

maiores taxas de aprovação podem influenciar positivamente o progresso das cidades inteligentes, impactando áreas como inovação, qualidade de vida e desenvolvimento urbano. Caso os dados não mostrem uma relação significativa, a hipótese nula (H_{0}) será aceita, indicando que as taxas de aprovação escolar não exercem efeito relevante no desenvolvimento das cidades inteligentes.

Com base nas hipóteses estabelecidas, buscou-se determinar os procedimentos metodológicos a serem seguidos no trabalho. A seção seguinte apresenta a metodologia do estudo.

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta o delineamento e a caracterização da presente pesquisa, bem como, os procedimentos metodológicos executados. A metodologia refere-se ao estudo dos caminhos a serem percorridos para realização de uma pesquisa, ou seja, para fazer ciência, podendo ser interpretada como o caminho escolhido para chegar a um fim previamente proposto (Gerhardt; Silveira, 2009). A metodologia vai além dos procedimentos (métodos e técnicas de pesquisa), pois define a escolha teórica para abordar o objeto de estudo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa possui natureza aplicada e abordagem quantitativa. Para analisar a relação entre a qualidade educacional e o desenvolvimento de cidades inteligentes, a presente pesquisa ancora-se em um delineamento descritivo-explicativo. No que tange ao caráter descritivo, este estudo busca encontrar e explicar relações entre variáveis, com o objetivo de compreender as características de determinado grupo ou fenômeno, podendo ser exploratória ou explicativa (Santos; Candeloro, 2006). Desta forma, enquanto explicativa, busca compreender o efeito de determinadas variáveis sobre outras, a fim de compreender as causas e efeitos do fenômeno estudado (Gil, 2008). Em outras palavras, este estudo descreve e explica a relação entre as variáveis das diferentes dimensões urbanas com a variável *Qualidade Educacional* e sua relação com o desenvolvimento de cidades inteligentes por meio do ranking de cidades inteligentes.

Trata-se, portanto, de um estudo relacional, onde investiga-se a relação entre duas ou mais variáveis, sem manipulá-las. O objetivo é determinar se existe uma relação entre as variáveis e, se sim, qual é a natureza dessa relação (Gujarati; Porter, 2011). Para isso, o estudo relacional testa hipóteses para saber se existe relação entre as variáveis independentes e a variável dependente ao longo do tempo.

3.2 MÉTODO

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa. Em detalhes, destaca-se o uso do Modelo Econométrico de Dados em Painel, que possibilitou gerar uma análise tanto transversal quanto temporal das variáveis urbanas, com foco sobre a relação entre a qualidade educacional e o desenvolvimento de cidades inteligentes.

3.2.1 Modelo Econométrico de Dados em Painel com método de Efeitos Fixos

Neste estudo, o Modelo Econométrico de Dados em Painel ou agrupamento de cortes transversais ao longo do tempo, como adotado por Wooldridge (2010), é utilizado para identificar as determinantes de uma cidade inteligente. Um Modelo de Dados em Painel combina dados transversais e temporais para analisar fenômenos dinâmicos, permitindo estudar a evolução de diferentes unidades básicas de análise (diferentes cidades, neste caso) ao longo do tempo. Esse tipo de modelo é útil para lidar com a heterogeneidade individual das unidades de análise, pois leva em consideração as variações entre as unidades e as variações ao longo do tempo, possibilitando capturar de maneira mais precisa os efeitos de variáveis de controle nas unidades analisadas, controlando fatores que não mudam com o tempo e que podem influenciar os resultados (Baltagi, 2008). Além disso, esta abordagem possibilita a utilização de bases de dados maiores do que seria possível utilizando apenas dados transversais. Wooldridge (2010) afirma que utilizar um amálgama entre cortes transversais e cortes temporais, em ordem cronológica, em forma de painel, é extremamente eficaz para testar teorias e prever resultados.

Uma das principais vantagens do uso de modelos de dados em painel é a capacidade de tratar de forma mais eficaz a heterogeneidade individual. Isso ocorre porque, ao combinar informações ao longo do tempo e entre diferentes unidades de análise (como indivíduos, empresas ou cidades), esses modelos permitem o controle de variáveis não observadas que podem influenciar os resultados. Exemplos dessas variáveis incluem fatores difíceis de medir diretamente, como características culturais, comportamentais e contextuais, que podem variar entre as unidades analisadas e afetar o comportamento ou o desempenho das variáveis de interesse. Ao controlar essas diferenças, os modelos de dados em painel proporcionam uma análise mais precisa e robusta, permitindo isolar os efeitos específicos de variáveis observadas e reduzindo o risco de viés nos resultados (Fávero; Takamatsu; Suzart, 2014).

Além disso, os dados em painel oferecem uma quantidade maior de informações, pois combinam dados de diferentes unidades de análise ao longo do tempo, o que resulta em uma base de dados mais rica e abrangente. Essa abordagem aumenta a variabilidade dos dados, permitindo capturar uma gama mais ampla de comportamentos e padrões, o que, por sua vez, melhora a precisão das análises. Ao integrar essas duas dimensões (tempo e unidades), os dados em painel ajudam a reduzir a colinearidade entre as variáveis, ou seja, a dependência excessiva entre elas. Com menos colinearidade, o modelo pode estimar de forma mais eficiente os efeitos das variáveis, tornando a análise mais robusta e confiável (Augusto-Eça et al., 2018).

O conjunto de dados utilizado nesta pesquisa se classifica como um painel curto (*short panel*), pois possui maior quantidade de observações transversais (cidades) e poucos instantes longitudinais (tempo). Além disso, a amostra estudada está em forma de painel desbalanceado, ou seja, não há dados disponíveis para todas as cidades todos os anos. Isso ocorre porque o ranking utilizado com as notas das cidades apresenta anualmente somente as 100 primeiras cidades, e ao longo do tempo o ranking sofre alterações, logo, algumas cidades são descontinuadas no ranking enquanto novas surgem. No modelo de dados em painel, a informação transversal está refletida nas diferenças entre as cidades, enquanto a informação longitudinal/temporal é refletida em como as variáveis do estudo se modificam ao longo do tempo (Wooldridge, 2010).

Ao longo do estudo, foram criados painéis de dados para adicionar variáveis de controle, com o objetivo de considerar outras variáveis que podem influenciar o desempenho das cidades no ranking. As variáveis de controle têm o papel de reduzir o viés de omissão e capturar a heterogeneidade observável, reduzindo o impacto das diferenças entre as variáveis e aumentando a precisão das estimativas por meio de variáveis que explicam parte da variação da variável dependente, reduzindo a variância do erro residual e melhorando a interpretação dos resultados sem efeitos espúrios. Com a utilização do modelo de dados em painel, foi possível isolar e identificar os efeitos específicos da qualidade educacional sobre o desenvolvimento das cidades inteligentes, levando em consideração as características individuais de cada cidade e sua evolução ao longo do tempo.

Assim, o modelo observou vários municípios (i) ao longo do tempo (t), e analisou a relação da variável de interesse (X), quando controlada até a k -ésima variável de controle do modelo ($\beta_2 \dots \beta_k$), e sua relação com a variável dependente (Y). Incluiu-se o intercepto da equação (β_0), que indica o valor esperado para a variável dependente quando todas as variáveis independentes são zero, e o erro idiossincrático (ε_{it}), que representa a variação não explicada pela equação ou pelos fatores incluídos no modelo, mas que afetam a variável dependente. Ele captura influências específicas de cada unidade (i) e de cada momento no tempo (t) que não são observadas diretamente no modelo. Além disso, foram considerados os efeitos fixos (α_i) para controlar as características não observadas e fixas no tempo de cada município, reduzindo o viés de variáveis omitidas. Ao incluir efeitos fixos, o modelo gerado consegue controlar as variáveis não observadas que sejam relacionadas com as variáveis independentes, mitigando problemas de endogeneidade que poderiam distorcer os resultados.

A diferença entre o modelo de Dados em Pannel com efeitos fixos e o modelo de Dados em Pannel com efeitos aleatórios, é que no primeiro as variáveis não observáveis são constantes ou inalteradas em todas as unidades de análise do estudo, ou seja, não apresentam variação de uma unidade para outra, e sua interferência no resultado é constante e não varia com as unidades de análise. Já no painel com efeitos aleatórios, fatores constantes são omitidos no tempo e cada unidade pode ter seu próprio intercepto (Wooldridge, 2010; Meneghini; Lana, 2024).

Para escolher qual o melhor modelo, foi rodado o Teste de Hausman. Quando o teste indica correlação entre os efeitos individuais e as variáveis explicativas, a melhor opção para modelar os dados em painel é o método de efeitos fixos. Quando os efeitos individuais e as variáveis explicativas não apresentam correlação significativa, opta-se pelo modelo de efeitos aleatórios (para mais detalhes ver Wooldridge, 2010).

O Teste de Hausman considera duas hipóteses: na hipótese nula (H_0) o modelo de efeitos aleatórios é o mais adequado, pois não há correlação entre as variáveis explicativas e os efeitos individuais não observados; na hipótese alternativa (H_1) do teste existe correlação entre as variáveis explicativas e os efeitos individuais não observados, portanto, o modelo de efeitos fixos é o mais adequado (Egger, 2022). O resultado do teste de Hausman indicou um *p-value* de 0.000. Sempre que o valor do teste for baixo (geralmente $p < 0,05$) entende-se que é necessário controlar a heterogeneidade, logo, rejeita-se a hipótese nula e utiliza-se o modelo de efeitos fixos.

Após os testes necessários, o modelo geral do painel foi estabelecido por meio da seguinte Equação (1):

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \dots + \beta_k X_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Para analisar as determinantes de uma cidade inteligente, iniciou-se controlando os fatores observáveis e não-observáveis constantes ao longo do tempo, juntamente com a qualidade educacional medida pela nota do Enem, a fim de avaliar sua relação com a nota do ranking de cidades inteligentes. Para assegurar a transparência metodológica e a robustez dos achados, os resultados são apresentados sequencialmente, de acordo com a inclusão de novas variáveis de controle.

Portanto, para analisar a relação da qualidade educacional com o desenvolvimento de cidades inteligentes, foi criado o Painel A representado pela Equação 2:

$$sci_{it} = \beta_0 + \beta_1 QE_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Onde:

sci_{it} : é a variável dependente representada pelo logaritmo (*log*) da *nota do ranking de cidades inteligentes*.

β_0 : é o intercepto da equação; indica o valor esperado para a variável dependente quando todas as variáveis independentes são zero.

$\beta_1 QE_{it}$: é o parâmetro de interesse *Qualidade Educacional*, representada pelo logaritmo (*log*) da média das notas do Enem. Este parâmetro mede a relação percentual da nota média do Enem sobre a nota de cidade inteligente.

α_i : representa os efeitos fixos de cada município ao longo do tempo. É utilizado para controlar as características não observáveis e fixas no tempo de cada município, reduzindo o viés de variáveis omitidas.

ε_{it} : é o erro idiossincrático, que representa a variação não explicada pela equação ou pelas variáveis incluídas no modelo, mas que afetam a variável dependente.

Após a estimação do primeiro painel, outras estimações foram realizadas adicionando variáveis de controle para verificar a relação destas com a nota do ranking de cidades inteligentes. Desse modo, foi gerado o Painel B, representado pela Equação 3:

$$sci_{it} = \beta_0 + \beta_1 QE_{it} + \beta_2 FE_{it} + \beta_3 HOM_{it} + \beta_4 MOR_{it} + \beta_5 LA_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Na notação, foram adicionadas à variável preexistente Qualidade Educacional (QE_{it}), algumas variáveis de controle, são elas: número de feminicídios (FE_{it}), número de homicídios (HOM_{it}), número de mortes no trânsito (MOR_{it}) e número de latrocínios (LA_{it}).

Em seguida, para aumentar a robustez das análises, um novo painel foi gerado adicionando variáveis de controle associadas às dimensões Economia e Pessoas, como salário, emprego e pessoas em situação de vulnerabilidade.

O Painel C é representado pela Equação 4:

$$\begin{aligned}
 sci_{it} = & \beta_0 + \beta_1 QE_{it} + \beta_2 FE_{it} \\
 & + \beta_3 HOM_{it} + \beta_4 MOR_{it} + \beta_5 LA_{it} \\
 & + \beta_6 SA_{it} + \beta_7 VIN_{it} + \beta_8 VUL_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Na Equação, as variáveis preexistentes seguem a notação estabelecida nas equações anteriores, enquanto novas variáveis de controle são adicionadas: salário médio (SA_{it}), número de vínculos de emprego formal (VIN_{it}) e número de pessoas em situação de vulnerabilidade (VUL_{it}).

Uma vez analisados os resultados do painel supracitado, um novo painel foi gerado com a adição de novas variáveis de controle para aumentar a robustez dos resultados. A Equação 5 representa o modelo do Painel D:

$$\begin{aligned}
 sci_{it} = & \beta_0 + \beta_1 QE_{it} + \beta_2 FE_{it} \\
 & + \beta_3 HOM_{it} + \beta_4 MOR_{it} + \beta_5 LA_{it} \\
 & + \beta_6 SA_{it} + \beta_7 VIN_{it} + \beta_8 VUL_{it} \\
 & + \beta_9 CO2_{it} + \beta_{10} IGM_{it} + \beta_{11} PAT_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{5}$$

Foram adicionadas às variáveis preexistentes, novas variáveis de controle associadas a fatores ambientais, de governança e inovação que estão atreladas ao desenvolvimento urbano. Na notação, estão representadas por: emissões de CO₂ ($CO2_{it}$), Índice de Governança Municipal (IGM_{it}) e número de patentes depositadas (PAT_{it}).

Para adicionar variáveis de controle associadas a todas as dimensões urbanas, optou-se em adicionar duas variáveis relacionadas com o setor de saúde dos municípios, sendo elas o número de médicos e o número de leitos de cada município. A Equação 6 representa o modelo do Painel E com a adição das novas variáveis:

$$\begin{aligned}
 sci_{it} = & \beta_0 + \beta_1 QE_{it} + \beta_2 FE_{it} \\
 & + \beta_3 HOM_{it} + \beta_4 MOR_{it} + \beta_5 LA_{it} \\
 & + \beta_6 SA_{it} + \beta_7 VIN_{it} + \beta_8 VUL_{it} \\
 & + \beta_9 CO2_{it} + \beta_{10} IGM_{it} + \beta_{11} PAT_{it} \\
 & + \beta_{12} MED_{it} + \beta_{13} LE + \alpha_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Na notação (Equação 6), as novas variáveis são representadas por: número de médicos (MED_{it}) e número de leitos (LE_{it}).

Após adicionar variáveis de controle associadas a todas as dimensões urbanas, foi possível identificar quais as variáveis independentes que geram efeito sobre a variável dependente. As variáveis que apresentaram efeito significativo sobre o desenvolvimento de cidades inteligentes foram adicionadas em uma nova etapa de análise, que tem por objetivo descobrir quais indicadores de qualidade educacional impactam o desenvolvimento de cidades inteligentes. Optou-se por utilizar apenas as variáveis que apresentaram efeito sobre a dependente, porque somente elas demonstraram relevância estatística na explicação das variações no desenvolvimento das cidades inteligentes. Dessa forma, a inclusão apenas dessas variáveis evita problemas de colinearidade e melhora a precisão das estimativas, garantindo que os resultados sejam mais robustos e confiáveis. Essa abordagem permite uma análise mais focada, possibilitando a identificação de quais indicadores de qualidade educacional possuem maior influência no desenvolvimento urbano inteligente. A etapa seguinte busca aprofundar essa relação, verificando a magnitude do impacto de cada variável educacional, a fim de fornecer subsídios para políticas públicas mais eficazes na promoção de cidades inteligentes.

A seguinte equação (7) representa o Painel F, que tem por objetivo identificar quais variáveis de qualidade educacional que afetam o desenvolvimento de cidades inteligentes.

$$\begin{aligned}
 sci_{it} = & \beta_0 + \beta_1 QE_{it} + \beta_2 MED_{it} + \beta_3 CO2_{it} + \beta_4 HOM_{it} + \beta_5 LA_{it} \\
 & + \beta_6 AT_{it} + \beta_7 HAD_{it} + \beta_8 DIS_{it} + \beta_9 APR_{it} + \beta_{10} AB_{it} \\
 & + \beta_{11} AFD_{it} + \beta_{12} RCD_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Na notação, as variáveis são representadas por: qualidade educacional (QE_{it}), número de médicos (MED_{it}), emissões de CO₂ ($CO2_{it}$), número de homicídios (HOM_{it}), número de latrocínios (LA_{it}), média de alunos por turma (AT_{it}), média de horas-aula diária (HAD_{it}), distorção idade-série (DIS_{it}), taxa de aprovação (APR_{it}), taxa de abandono (AB_{it}), adequação da formação docente (AFD_{it}) e regularidade do corpo docente (RCD_{it}).

3.2.2 Fonte e Tratamento dos Dados

Este Modelo de Dados em Painel investiga como diferentes variáveis estão relacionadas com o desenvolvimento das cidades inteligentes brasileiras com base no ranking de cidades inteligentes *Connected Smart Cities* (CSC, 2023). Para isso, foram analisadas observações derivadas de dados transversais de 183 cidades (Apêndice A) e temporais de 2015

a 2023, abrangendo as sete dimensões das cidades inteligentes identificadas na literatura, a saber: economia, infraestrutura urbana, ambiente natural, tecnologia e inovação, pessoas, governança e organizações.

Como observado, a variável dependente escolhida para o estudo foi a nota geral do ranking de cidades inteligentes, que foi coletada por meio do ranking *Connected Smart Cities* (CSC). A nota foi coletada manualmente para cada um dos 100 municípios mais inteligentes de 2015 a 2023. Dessa forma, o critério de seleção dos municípios baseou-se exclusivamente na posição no ranking, contemplando as 100 cidades mais bem colocadas anualmente, independentemente de seu porte populacional ou localização geográfica.

A variável de interesse deste estudo é a qualidade educacional, que acredita-se ser fator crucial para o desenvolvimento de cidades inteligentes, dado seu impacto nas competências da população (Tsoutsas; Lampropoulos, 2022; Sunley et al., 2020), na inovação (Wu; Liu, 2021) e no desenvolvimento econômico (Maneejuk; Yamaka, 2021). Neste estudo, as notas do Enem foram utilizadas como *proxy* para a variável de qualidade educacional, uma vez que o Brasil não possui dados específicos sobre esta variável e as notas do Enem são frequentemente utilizadas para avaliar a qualidade educacional (Garcia et al., 2021; de Medeiros; Sodré Neto, 2018; Rocha; Ferreira, 2020), inclusive em análises de dados em painel (de Souza et al., 2021).

Os dados do Enem foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2023). Por se tratar de microdados, foi calculada a média das notas dos alunos para cada um dos municípios para cada ano. A nota média foi calculada com base nas notas de Ciências da Natureza, Ciências Humanas, Linguagens e Códigos, Matemática e Redação.

Além disso, foram utilizadas outras variáveis associadas à qualidade educacional: média de alunos por turma, média de horas-aula diária, taxa de distorção idade-série, taxa de aprovação, taxa de abandono, adequação da formação docente e regularidade do corpo docente. Estas variáveis foram escolhidas por serem indicadores subjetivos de qualidade educacional previamente categorizados (Inep; Unicef, 2004, 2013; Inep, 2006; Unicef, 2007)

No que tange às variáveis de controle, foram utilizadas variáveis referentes às sete dimensões das cidades inteligentes identificadas na literatura, de acordo com a disponibilidade de dados no período analisado. As variáveis *CO₂*, *vulnerabilidade* e *vínculos* foram calculadas a partir do valor total dividido pela população total do município, a fim de obter um valor per capita (exemplo: $\ln_CO_2 = \log(CO_2/população)$). As variáveis *patentes*, *feminicídio*, *homicídio*, *mortes no trânsito*, *latrocínio*, *leitos* e *médicos* foram calculadas a partir de seu valor total, dividido pela população total do município multiplicada por 10.000 (exemplo: $\ln_patentes =$

$\log(\text{patente/população} \times 10000)$. Isto é indicado quando os valores de determinada variável são muito baixos ou muito altos e busca-se facilitar a interpretação dos coeficientes.

As demais variáveis foram utilizadas em seus valores totais por município: *nota* do ranking de cidades inteligentes, *IGM* e *salário*, pois trata-se de variáveis com valores que possuem escalas apropriadas para análise sem necessidade de transformação. As notas do ranking de cidades inteligentes variam conforme o ano de referência. De 2015 a 2018, o escore máximo foi de 63 pontos; em 2019 e 2020, esse valor foi ampliado para 69,5 pontos; nos anos de 2021 e 2022, o limite passou a ser de 70 pontos; e, em 2023, houve uma leve redução, com o escore máximo fixado em 69 pontos. O IGM é calculado por meio de um escore que varia de 0 a 10, enquanto as demais variáveis são expressas em valores absolutos. Dessa forma, a escolha das variáveis e suas formas de cálculo foram definidas com o objetivo de garantir comparabilidade, melhorar a interpretação dos coeficientes e minimizar problemas estatísticos relacionados a escalas muito diferentes.

Além disso, para o modelo de dados em painel foi calculado o logaritmo natural das variáveis para facilitar a interpretação em termos de elasticidade. Quando as variáveis dependentes e independentes são transformadas em logaritmos, os coeficientes estimados no modelo podem ser interpretados diretamente em termos de elasticidade, facilitando a análise. Por exemplo, se um modelo de regressão usa o *log* da nota de cidades inteligentes e o *log* da qualidade educacional, o coeficiente pode ser interpretado como a elasticidade da nota de cidades inteligentes em relação à qualidade educacional. Além disso, a utilização do logaritmo natural nas variáveis permite capturar relações não lineares e suavizar a dispersão dos dados, tornando as estimativas econométricas mais robustas e confiáveis.

Para corrigir potenciais problemas de heterocedasticidade⁴ utilizou-se inferência robusta, utilizada para assegurar que o modelo seja homocedástico e possua variância do resíduo constante. A aplicação da inferência robusta é especialmente relevante em modelos de dados em painel, nos quais a variabilidade dos erros pode diferir entre unidades observacionais, garantindo estimativas mais robustas e minimizando o impacto de possíveis vieses nos resultados.

O Quadro 8 apresenta as variáveis utilizadas e respectivos detalhes. As fontes de dados secundários escolhidas estão entre as mais utilizadas em estudos de desenvolvimento urbano, o

⁴ Heterocedasticidade refere-se a uma situação em que a variância dos resíduos (ou erros) de um modelo de regressão não se mantém constante para todos os níveis das variáveis independentes.

que justifica seu uso. Contudo, não se exclui a possibilidade de outras variáveis e fontes de dados não utilizadas neste estudo serem igualmente relevantes.

Quadro 8 - Variáveis e fontes de dados

Variável	Tipo	Descrição	Fonte ⁵	Periodicidade	Unidade de medida	Polaridade
Cidades Inteligentes	Variável dependente	Nota do ranking de cidades inteligentes. É calculada anualmente e identifica as cem (100) cidades mais inteligentes do Brasil.	CSC	Anual	Nota	Maior-Melhor
Qualidade educacional	Variável de interesse	Foi utilizada a média da nota do Enem como proxy para a qualidade educacional.	INEP	Anual	Nota	Maior-Melhor
CO ₂	Variável de controle	Toneladas de CO ₂ emitidas por município por ano, considerando todos os setores produtivos e categorias emissoras (industrial, residencial, transportes, entre outros).	SEEG	Anual	Toneladas	Menor-Melhor
IGM	Variável de controle	O Índice de Governança Municipal é uma métrica da governança pública nos municípios brasileiros mensurado a partir de três dimensões: finanças, gestão e desempenho.	CFA	Anual	Nota	Maior-Melhor
Patente	Variável de controle	Quantidade de patentes depositadas por município por ano.	INPI	Anual	Registros	Maior-Melhor
Salário	Variável de controle	Salário médio por município em reais.	RAIS	Anual	Reais	Maior-Melhor
Vínculos	Variável de controle	Quantidade de pessoas com carteira de trabalho assinada entre a população total.	RAIS	Anual	Percentual	Maior-Melhor
Vulnerabilidade	Variável de controle	Proporção de pessoas cadastradas no CadÚnico em relação à população total residente de cada município em dezembro do ano vigente.	SAGICAD	Anual	Percentual	Menor-Melhor
Feminicídios	Variável de controle	Número de mortes de mulheres por parceiro íntimo, registrados pela polícia civil.	MJSP	Anual	Casos	Menor-Melhor
Homicídios	Variável de controle	Número de mortes causadas intencionalmente, registradas pela polícia civil.	MJSP	Anual	Casos	Menor-Melhor
Mortes no trânsito	Variável de controle	Número de mortes em decorrência de acidentes de	MJSP	Anual	Casos	Menor-Melhor

⁵ CSC - *Connected Smart Cities ranking*; INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira; SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa; CFA – Conselho Federal de Administração; INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial; RAIS - Relação Anual de Informações Sociais; SAGICAD - Secretaria de Avaliação, Gestão da Informação e Cadastro Único; MJSP - Ministério da Justiça e Segurança Pública; SUS – Sistema Único de Saúde; INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

		trânsito, registradas pela polícia civil.				
Latrocínio	Variável de controle	Número de roubos seguidos de morte, registrados pela polícia civil.	MJSP	Anual	Casos	Menor-Melhor
Número de leitos	Variável de controle	Número de leitos por 10 mil habitantes no município em dezembro do ano vigente.	SUS	Anual	Leitos/10 mil hab.	Maior-Melhor
Número de médicos	Variável de controle	Número de médicos por 10 mil habitantes no município em dezembro do ano vigente.	SUS	Anual	Médicos/10 mil hab.	Maior-Melhor
Média de alunos por turma	Variável de interesse	Média de estudantes por sala de aula no ensino médio nas escolas do município.	INEP	Anual	Alunos/turma	Menor-Melhor
Média de horas-aula diária	Variável de interesse	Média de horas de aula por dia no ensino médio nas escolas do município.	INEP	Anual	Horas/dia	Maior-Melhor
Taxa de distorção idade-série	Variável de interesse	Percentual de alunos com idade superior à recomendada para o ano escolar em que estão matriculados.	INEP	Anual	Percentual	Menor-Melhor
Taxa de aprovação	Variável de interesse	Percentual de estudantes que foram aprovados no final do ano letivo.	INEP	Anual	Percentual	Maior-Melhor
Taxa de abandono	Variável de interesse	Percentual de estudantes que deixaram de frequentar a escola antes do final do ano letivo.	INEP	Anual	Percentual	Menor-Melhor
Adequação da formação docente	Variável de interesse	Percentual de professores que lecionam disciplinas para as quais possuem formação adequada.	INEP	Anual	Percentual	Maior-Melhor
Regularidade do corpo docente	Variável de interesse	Percentual de professores que permanecem na mesma escola ao longo dos anos, indicando estabilidade do corpo docente.	INEP	Anual	Percentual	Maior-Melhor

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Sempre que possível os dados foram exportados diretamente para o software R. Quando não era possível, foram tabulados manualmente em uma planilha do Microsoft Excel e depois inseridos no software para tratamento e análise.

3.2.3 Ranking Connected Smart Cities

O Ranking Connected Smart Cities (CSC) foi escolhido por se tratar da ferramenta brasileira mais completa para medir a inteligência das cidades, como identificado em estudo prévio⁶. Além disso, o CSC é o único ranking que avalia cidades brasileiras a vários anos – desde 2015 – possibilitando uma análise temporal.

⁶ Estudo prévio realizado pela autora, intitulado “From Technology to Society: A Critical Review of Smart City Assessment Frameworks and Future Directions”, atualmente em avaliação em Journal da área.

O CSC é desenvolvido anualmente desde 2015 pela Urban Systems com o objetivo de mapear os municípios brasileiros com mais de 50 mil habitantes e identificar as cidades mais inteligentes e conectadas do país. Para criação do ranking, são analisados 11 eixos temáticos e mais de 300 indicadores de desenvolvimento econômico. Como meio de comparação, a ISO 37122 para Cidades inteligentes é composta por 80 indicadores, enquanto a ISSO 37120 para o desenvolvimento sustentável de comunidades é composta de 120 indicadores (Urban Systems, 2024).

Para o desenvolvimento do ranking foi utilizada uma metodologia de ponderação de indicadores, denominada de Índice de Qualidade Mercadológica (IQM). O índice permite que “se parta de valores específicos de cada informação que variam em natureza, complexidade e unidades de medida, para se chegar a valores ponderados que podem ser analisados em uma mesma equação” (Urban Systems, 2024). Os indicadores utilizados na análise pertencem a 11 eixos temáticos: mobilidade, urbanismo, meio ambiente, energia, tecnologia e inovação, economia, educação, saúde, segurança, empreendedorismo e governança.

O ranking identifica a cidade mais inteligente de cada uma das 5 regiões geográficas brasileiras: Sul, Sudeste, Nordeste, Norte e Centro-Oeste; apresenta a cidade mais inteligente de acordo com o número de habitantes: 500 mil habitantes, 100 a 500 mil habitantes e 50 a 100 mil habitantes; e apresenta um ranqueamento geral das 100 cidades mais inteligentes do país, com mais de 50 mil habitantes e, por fim, são ranqueadas as 100 cidades mais inteligentes de acordo com cada um dos 11 eixos temáticos (Urban Systems, 2024). Neste estudo, foram utilizadas as notas gerais das 100 cidades mais inteligentes do país anualmente, assim classificadas desde o primeiro relatório do ranking, datado de 2015, até o ranking de 2023.

Apesar de o ranking CSC oferecer uma medida consolidada, este estudo reconhece as limitações inerentes aos índices que avaliam as cidades inteligentes, incluindo o CSC. O entendimento sobre o conceito de cidades inteligentes pode variar conforme diferentes abordagens teóricas, que ora enfatizam infraestrutura tecnológica e inovação (Khemakhem; Krichen, 2024), ora aspectos como governança participativa (Caragliu et al. (2013), inclusão social e sustentabilidade ambiental (Belaïd; Arora, 2024). Assim, nem sempre os rankings e índices abrangem adequadamente essas múltiplas dimensões, podendo privilegiar determinadas perspectivas em detrimento de outras.

Embora o ranking CSC utilize um conjunto amplo de variáveis, é necessário ponderar sobre a comparabilidade efetiva entre cidades brasileiras com realidades socioeconômicas, territoriais e culturais profundamente distintas. A padronização dos indicadores pode simplificar a complexidade urbana, omitindo aspectos qualitativos ou territoriais singulares que

não são capturados por métricas quantitativas. A utilização de rankings, embora útil para estabelecer parâmetros comparativos e fundamental para a presente pesquisa, pode induzir a uma visão reducionista das cidades, enfatizando posições relativas em vez de processos históricos, trajetórias políticas ou desafios locais. Embora não seja o objetivo do presente estudo, ao reconhecer as limitações do ranking em captar as "múltiplas camadas" do espaço urbano, abre-se espaço para pesquisas futuras que discutam a complexidade dessas camadas: relações sociais, desigualdades territoriais, dinâmicas informais, redes de solidariedade, entre outras.

Embora frequentemente apresentados como ferramentas neutras e objetivas para medir o desenvolvimento urbano, os rankings de cidades inteligentes podem servir mais como instrumentos de marketing urbano do que como diagnóstico social profundo. Os rankings projetam imagens de cidades competitivas, criativas e inovadoras, atraentes para investidores, turistas e talentos qualificados, mas podem negligenciar questões fundamentais como desigualdade, segregação socioespacial, precarização dos serviços públicos ou processos de gentrificação (Gstrein, 2024). Uma cidade pode ser altamente conectada, eficiente e inovadora para os setores econômicos, mas se não garantir direitos básicos — como moradia, saneamento e mobilidade — para amplas parcelas da população, sua inteligência é seletiva, reforçando desigualdades e aprofundando injustiças sociais.

Assim, foram estabelecidos os procedimentos metodológicos, a fonte e o tratamento dos dados. O modelo econométrico de dados em painel foi executado em etapas para evidenciar o efeito da inclusão de novas variáveis sobre os resultados. Os achados e discussões são apresentados na seguinte seção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta as estatísticas descritivas e os resultados obtidos por meio do Modelo Econométrico de Dados em Panel, bem como, as discussões acerca da relação entre qualidade educacional e o desenvolvimento de cidades inteligentes.

4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

As estatísticas descritivas dos dados permitem compreender a amostra estudada. Assim, a Tabela 1 apresenta as estatísticas de acordo com a variável analisada. Os resultados estão apresentados em log, o que justifica os valores baixos.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas

Variável	Obs	Média ($\bar{x}$)	Desvio Padrão (σ)	Min	Max
Nota do ranking	850	3,378986	0,124128	3,125005	3,662972
CO ₂	750	0,528052	0,738648	-0,83369	3,856292
IGM	695	1,887509	0,1324	1,289233	2,186051
Patentes	802	-1,08785	0,861135	-3,91354	3,128506
Vulnerabilidade	1.647	-1,44359	0,40426	-2,90637	-0,41835
Salário	1.647	7,934818	0,227407	7,357752	8,991302
Vínculos	1.647	-1,22064	0,305924	-2,26077	0,131422
Feminicídio	1.611	-2,45816	0,808077	-6,47337	-0,18504
Homicídio	1.611	0,07782	0,959125	-4,96333	2,30426
Morte no trânsito	1.611	-0,08363	0,830452	-5,2643	1,917965
Latrocínio	1.611	-2,30109	0,768332	-5,73474	-0,32027
Nota do Enem	1.647	6,300995	0,050306	6,146278	6,470037
Leitos	1.647	2,696305	0,591026	-0,17581	4,009351
Médicos	1.647	3,415743	0,401014	2,058264	4,853393
Alunos por turma	1.647	3,427612	0,089854	3,104587	3,74242
Horas-aula diária	1.647	1,660758	0,115009	1,360977	2,04122
Distorção idade-série	1.647	2,811747	0,494711	1,458615	3,914021
Aprovação	1.281	4,461224	0,082526	4,141546	4,601162
Abandono	1.273	1,184249	0,818421	-2,30259	2,862201
Adequação docente	1.647	4,213185	0,160463	3,424263	4,515245
Regularidade docente	1.572	1,826423	0,803337	-0,91629	4,077538

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

De acordo com as estatísticas descritivas, é possível perceber que a média das 183 cidades analisadas é de 3,37 e o desvio padrão (σ) é de 0,12, indicando pouca variação. Isso significa que a maioria das cidades analisadas têm pontuações próximas no ranking de cidades inteligentes. No que tange aos indicadores socioeconômicos, observa-se que o salário apresenta pouca variação em sua distribuição ($\bar{x} = 7,93$; $\sigma = 0,22$), sugerindo relativa homogeneidade nos rendimentos. A variável vínculos, por outro lado, apresenta variação moderada ($\bar{x} = -1,22$; $\sigma = 0,30$), o que indica possível desigualdade no mercado de trabalho entre os municípios. Além disso, a variável patentes ($\bar{x} = -1,08$; $\sigma = 0,86$) indica forte desigualdade na inovação tecnológica entre os municípios analisados. A média negativa indica que a maior parte dos municípios possui baixa produção de patentes, e a alta dispersão evidencia que poucos municípios concentram a maior parte da inovação tecnológica.

Em relação aos indicadores de segurança pública, a variável homicídios apresentou o maior desvio padrão ($\sigma = 0,95$), indicando grande flutuação no número de casos entre os municípios analisados. As demais variáveis de segurança também apresentaram desvio padrão relativamente alto, sugerindo que existe variação nas incidências de feminicídio entre as cidades ($\bar{x} = -2,45$; $\sigma = 0,80$), e apontando que há regiões com maiores taxas de mortes no trânsito ($\bar{x} = -0,08$; $\sigma = 0,83$) e devido à latrocínios ($\bar{x} = -2,30$; $\sigma = 0,76$).

Além disso, os resultados indicam que há diferenças significativas na infraestrutura de saúde, sendo que o desvio padrão de leitos hospitalares é (σ) 0,59 ($\bar{x} = 2,69$), e do número de médicos é (σ) 0,40 ($\bar{x} = 3,41$), o que evidencia a desigualdade na distribuição deste profissional entre os municípios. Os dados sugerem que há grandes variações entre os municípios no que tange a segurança pública, inovação (patentes), emissões de CO₂ e infraestrutura hospitalar, refletindo desigualdades estruturais que podem impactar diretamente a qualidade de vida da população. A forte variação no número de patentes evidencia que alguns municípios possuem avanços tecnológicos expressivos, enquanto outros carecem de inovação. Já a distribuição desigual de leitos e médicos pode indicar dificuldades no acesso à saúde em determinadas cidades.

Em contrapartida, a maior parte dos indicadores educacionais apresentam baixa variação entre as cidades, como nota do Enem ($\bar{x} = 6,30$; $\sigma = 0,05$), alunos por turma ($\bar{x} = 3,42$; $\sigma = 0,08$) e horas-aula diária ($\bar{x} = 1,66$; $\sigma = 0,11$). Isso evidencia que os indicadores educacionais são relativamente homogêneos entre os municípios analisados. Essa baixa variação também sugere um padrão educacional semelhante entre as cidades, possivelmente resultado de diretrizes educacionais padronizadas ou políticas públicas que garantem um nível mínimo de uniformidade no ensino. Entende-se que, embora os indicadores educacionais apresentem certa

estabilidade, outros aspectos fundamentais, como segurança, inovação e infraestrutura hospitalar ainda possuem grandes discrepâncias entre os municípios analisados.

4.2 DADOS EM PAINEL

No Painel A não foram adicionadas variáveis de controle a fim de verificar o efeito das notas do Enem no ranking de cidades inteligentes sem controle. Apenas a inferência robusta foi utilizada para corrigir potenciais problemas de heterocedasticidade. Problemas de heterocedasticidade ocorrem quando a variância do resíduo não é constante, podendo impactar na significância do coeficiente. Assim, utiliza-se inferência robusta para assegurar que o modelo seja homocedástico e possua variância do resíduo constante. A Tabela 2 apresenta os resultados da regressão.

Tabela 2 - Painel A

Variáveis	(1) Sem Controles	(2) Sem Controles
Nota do Enem	2.239*** (0.106)	2.239*** (0.080)
Constante	-10.756*** (0.668)	-10.756*** (0.502)
Observações	850	850
R ²	0.402	0.402
Número de id_mun	183	183
Efeito Fixo no Município	Sim	Sim
Inferência Robusta	Não	Sim
Erros-padrão entre parênteses		
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1		

Os resultados do Painel A mostram que a qualidade educacional, representada pelas notas médias do Enem, tem relação positiva significativa na pontuação do ranking de cidades inteligentes. O coeficiente foi altamente significativo ($\beta = 2,239$; $p < 0.01$), o que indica que um aumento de 1% na média das notas do Enem pode gerar um aumento de aproximadamente 2,239% na nota do ranking de cidade inteligente. Em outras palavras, os resultados sugerem que melhorias no desempenho educacional podem contribuir diretamente para a elevação da classificação no ranking de cidades inteligentes.

Outras estimações foram realizadas adicionando variáveis de controle para verificar a relação destas com a nota do ranking de cidades inteligentes. Desse modo, foi gerado o Painel B (Tabela 3) adicionando variáveis de controle associadas à segurança.

Tabela 3 - Painel B

Variáveis	(1) Com Controles	(2) Com Controles	(3) Com Controles	(4) Com Controles
Nota do Enem	2.221*** (0.091)	2.083*** (0.107)	2.089*** (0.107)	1.994*** (0.114)
Feminicídios	0.002 (0.007)	0.006 (0.006)	0.007 (0.006)	0.007 (0.006)
Homicídios		-0.033*** (0.009)	-0.029*** (0.009)	-0.025*** (0.009)
Mortes no trânsito			-0.008 (0.007)	-0.005 (0.007)
Latrocínio				-0.019*** (0.006)
Constante	-10.639*** (0.579)	-9.753*** (0.681)	-9.791*** (0.681)	-9.241*** (0.717)
Observações	835	835	835	835
R ²	0.393	0.418	0.419	0.426
Número de id_mun	181	181	181	181
Efeito Fixo no Município	Sim	Sim	Sim	Sim
Inferência Robusta	Sim	Sim	Sim	Sim

Erros-padrão entre parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Por meio do Painel B, percebe-se que o coeficiente das notas do Enem apresenta reduções à medida que novas variáveis de controle são adicionadas. No entanto, se mantém altamente significativo ($p < 0.01$), sendo que um aumento de 1% nas notas do Enem aumenta em 1,99% a nota do ranking de cidades inteligentes no último modelo. O coeficiente de determinação se mantém elevado ($R^2 = 0,426$) à medida que mais variáveis de controle são adicionadas, indicando que a inclusão dos fatores de segurança melhora a explicação do modelo.

No que tange às variáveis de controle adicionadas, percebe-se que *feminicídio* e *morte no trânsito* não se mostraram significativas. A falta de significância não implica necessariamente na ausência de relação com a variável dependente (nota do ranking de cidades inteligentes). É possível que essas variáveis apresentem uma relação baixa com a variável dependente, ou que sua relação esteja sendo capturada indiretamente por outras variáveis no modelo, como homicídios e latrocínios. Isso pode sugerir a presença de colinearidade entre essas variáveis explicativas, o que dificulta a identificação da relação específica de cada uma delas.

No que tange à variável *homicídios*, nota-se que apresenta relação negativa ($\beta = -0.033$) a nível de significância 1% ($p < 0.01$). Este coeficiente cai para -0,025 quando adicionados mais controles no modelo. Em termos de elasticidade, isso sugere que o aumento de uma unidade percentual na variável *homicídios*, reduz em 0,025% a nota do ranking de cidades inteligentes. Quando as taxas de criminalidade aumentam, as cidades vão contra o propósito básico de uma cidade inteligente, que é garantir qualidade de vida aos cidadãos. Para lidar com estes problemas, algumas cidades, como São Francisco, na Califórnia, têm usado a tecnologia para criar sistemas de detecção de tiros (identificação de local exato, número de disparos, tipo de arma e outros dados relevantes), com o propósito de agir rapidamente quando estes forem disparados na cidade (Srivastava; Bisht; Narayan, 2017).

Os achados também evidenciam que os casos de roubo seguido de morte (*latrocínio*) indicam uma relação negativa significativa ($\beta = -0,019\%$; $p < 0.01$) na nota do ranking de cidades inteligentes. Isso significa que quando os casos de latrocínio em uma cidade inteligente caem 1%, sua nota no ranking de cidades inteligentes tende a aumentar em torno de 0,019%. Adisa (1994) e Ifediora (2021) explicam que existe uma relação entre a modernização e a criminalidade, criando um ciclo de desenvolvimento urbano desigual e o aumento da violência nas cidades. Isso ocorre porque, quando uma área urbana se desenvolve, os moradores de bairros mal planejados e densamente povoados vivem em espaços precários que minam as relações sociais com uma alta propensão a violência (Adisa, 1994). As circunstâncias são frequentemente agravadas pela pobreza, pelos valores tradicionais e normas sociais que geram comparação com outros espaços, levando à violência.

Ifediora (2021) aponta que as características de impessoalidade, anonimato e aglomeração do espaço urbano se combinam para aumentar o número de crimes violentos, como assalto a mão armada, assassinatos e sequestros, aumentando a insegurança das cidades e reduzindo seu nível de inteligência. À medida que uma cidade cresce sem tratar devidamente suas desigualdades estruturais, uma parcela da população é colocada à mercê da pobreza, da falta de infraestrutura e saneamento básico, e das inerentes comparações sociais existentes entre as classes (Ifediora, 2021). A insegurança gerada pela falta de recursos inicia um ciclo de violência urbana que se estende para todas as esferas e todos os níveis da cidade (Adisa, 1994).

Para aumentar a robustez das análises, um novo painel foi gerado adicionando novas variáveis de controle. Os resultados do Painel C são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Painei C

Variáveis	(1) Com Controles	(2) Com Controles	(3) Com Controles	(4) Com Controles
Nota do Enem	1.826*** (0.119)	1.751*** (0.140)	1.685*** (0.131)	1.583*** (0.131)
Salário	0.214*** (0.043)	0.247*** (0.055)	0.241*** (0.055)	0.203*** (0.056)
Vínculos		-0.071 (0.051)	-0.080 (0.051)	-0.033 (0.054)
Vulnerabilidade			0.038** (0.017)	0.023 (0.017)
Feminicídios				0.005 (0.006)
Homicídios				-0.023** (0.009)
Morte no trânsito				-0.005 (0.006)
Latrocínio				-0.017*** (0.006)
Constante	-9.863*** (0.542)	-9.734*** (0.557)	-9.218*** (0.501)	-8.280*** (0.654)
Observações	850	850	850	835
R ²	0.424	0.426	0.428	0.445
Número de id_mun	183	183	183	181
Efeito Fixo no Município	Sim	Sim	Sim	Sim
Inferência Robusta	Sim	Sim	Sim	Sim

Erros-padrão entre parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

No Painei C, a variável *Nota do Enem* sofreu uma pequena alteração conforme novas variáveis de controle foram adicionadas, passando de (β)1.826 para (β)1.583, mas mantendo-se significativa ($p < 0.01$). De acordo com este Painei, o aumento de 1% na nota média do Enem está associado a um acréscimo de 1,58% na nota do ranking de cidades inteligentes.

A variável *salários* apresenta coeficientes positivos e significativos em todos os modelos, sendo de 0.20 no último. Isso indica que aumentos salariais estão associados a acréscimos na variável dependente, logo, cidades cuja média salarial é superior, tendem a alcançar melhores níveis de inteligência. A relação sugere que um aumento de 1% no salário médio está associado a uma adição de 0,20% na nota do ranking de cidades inteligentes. A literatura aponta que é necessário que os governantes de cidades inteligentes tenham relações estreitas com os gestores de empresas, instigando a criação de planos de salários que reduzam as desigualdades de rendimentos (Roberts, 2023). Outras desigualdades também podem ser reduzidas, como a étnica, a cultural e a educacional. Assim, uma cidade inteligente pode

contribuir diretamente para a redução das dissimilaridades ou ainda para o aumento delas, caso não sejam implementadas ações de correção de desigualdades econômicas e sociais (Caragliu; Del Bo, 2022).

A pesquisa de Chen, Deng e Schneider (2024) evidencia que, em projetos pilotos de cidades inteligentes chinesas, as regiões com maior nível de desenvolvimento econômico, acumulação de capital humano e investimento em P&D obtiveram melhores resultados na redução da desigualdade de rendimentos quando comparadas às regiões com menor acumulação de capital humano. Os autores afirmam que melhorar os níveis de inteligência urbana de toda a sociedade é imprescindível para reduzir estas desigualdades, bem como aumentar a criação de empregos, reduzir a exclusão digital e melhorar a prestação de serviços públicos, para que a distribuição de rendimentos seja mais razoável (Chen, Deng e Schneider, 2024).

Os coeficientes da variável *vínculos* de emprego formal não são significativos em nenhum dos modelos, sugerindo que o número de vínculos empregatícios não está correlacionado às notas do ranking de cidades inteligentes. Apesar disso, Picatoste et al. (2018) aponta que a empregabilidade está estreitamente relacionada com a educação, especialmente em cidades inteligentes, que necessitam de pessoal qualificado para atender demandas tecnológicas e estratégicas da cidade. Em uma cidade inteligente é necessário garantir que a educação, as habilidades e os conhecimentos sejam transmitidos para todos os níveis e idades, e que a empregabilidade seja uma prioridade no desenvolvimento urbano para alcançar elevados níveis de cobertura educacional e atendimento às necessidades sociais (Klett; Wang, 2014).

Por outro lado, a variável *vulnerabilidade* apresentou significância positiva ($\beta = 0,03$). O cadastro de pessoas vulneráveis no Cadastro Único (CadÚnico), é realizado pelos municípios e uma má gestão pode gerar um baixo número de cadastros, o que não significa que necessariamente haja poucas pessoas em situação de vulnerabilidade. Esse efeito pode distorcer o impacto percebido da vulnerabilidade, tornando a relação positiva no modelo. Outra possibilidade pode estar relacionada aos benefícios ofertados às pessoas cadastradas no CadÚnico, uma vez que os subsídios podem melhorar a qualidade de vida dessa população. Cidades que cadastram seus cidadãos em situação de vulnerabilidade em programas de apoio social melhoram a qualidade de vida dos indivíduos por meio de auxílios como o Programa Bolsa Família, Tarifa Social de Energia Elétrica, Benefício de Prestação Continuada (BPC), Pé-de-Meia, entre outros (Brasil, 2025). Por consequência, ao melhorar a qualidade de vida da população, as cidades se posicionam melhor no ranking de cidades inteligentes.

Yang et al. (2024) apontam que as cidades inteligentes precisam centrar-se na equidade social e na proteção dos grupos vulneráveis, além de enfatizar a participação e a autonomia das comunidades e de seus talentos, que possuem maior conhecimento sobre os problemas locais. Nota-se, no entanto, que à medida em que novas variáveis são acrescentadas ao modelo, a variável *vulnerabilidade* deixa de ser significativa, ou seja, são as demais variáveis do modelo que estão explicando a variável dependente.

No painel C, as variáveis *feminicídio* e *morte no trânsito* permaneceram sem resultados significativos sobre as notas do ranking de cidades inteligentes, o que indica que estas não explicam a variável dependente. *Homicídio* e *latrocínio* apresentaram relação negativa com o ranking de cidades inteligentes, com os respectivos coeficientes, ($\beta = -0.023$; $\beta = -0.017$), indicando que a redução no número de casos destas violências aumenta a nota da cidade no ranking.

Kohli e Singh (2021) apontam que, mesmo as cidades se tornando inteligentes, os crimes contra as mulheres, como estupro, assédio, agressão sexual, abuso sexual, violência doméstica, feminicídio, entre outros crimes de ódio, não acabam. Para os autores, as leis e medidas preventivas de proteção às mulheres têm se mostrado ineficientes. Existe a necessidade de investimento em sistemas mais efetivos e que utilizem tecnologias de ponta para monitorar e mapear os casos de violência, dando o devido suporte às vítimas e o julgamento aos agressores (Kohli; Singh, 2021). Garantir a proteção e os direitos humanos das mulheres é um passo fundamental para transformar os lares, as instituições, as cidades e as nações (Davidson, 2021).

A variável *morte no trânsito*, embora não significativa, merece destaque, haja visto que mundialmente os acidentes no trânsito representam uma das principais causas de morte, sendo a primeira entre jovens na faixa etária de 15 a 28 anos. Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2025), 93% das mortes no trânsito ocorrem em países de baixa e média renda. O número de acidentes e mortes causados por veículos automotores está frequentemente relacionado a dois fatores. O primeiro é a qualidade da infraestrutura e sinalização das vias. De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), 47,7% dos acidentes e das mortes ocorrem em trechos de vias com problemas de pintura da faixa central. Além disso, a ausência de placas de limites de velocidade dobra o risco de morte, enquanto rodovias com controladores de velocidade reduzem em 32% o número de acidentes.

O segundo fator é a educação no trânsito. Segundo a OPAS (2025), os erros humanos como o excesso de velocidade, direção distraída, condução sob influência do álcool e a não utilização de sistemas de proteção (como cintos e capacetes), estão entre as principais causas de acidentes no trânsito. Isso reforça a necessidade de investimento em infraestrutura das vias

públicas e em programas de educação no trânsito, especialmente em países em desenvolvimento do sul global, que concentram o maior número de acidentes.

Uma vez analisados os resultados deste painel, foi gerado o Painel D com a adição de novas variáveis de controle para aumentar a robustez dos resultados. Foram adicionadas às variáveis preexistentes, novas variáveis associadas a fatores ambientais, de governança e inovação, que estão atreladas ao desenvolvimento urbano. Os resultados do Painel podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5 - Painel D

Variáveis	(1) Com Controles	(2) Com Controles	(3) Com Controles	(4) Com Controles
Nota do Enem	2.379*** (0.088)	2.205*** (0.159)	2.225*** (0.166)	1.340*** (0.231)
CO2	-0.021 (0.015)	-0.023 (0.033)	-0.031 (0.033)	-0.059** (0.030)
IGM		0.053 (0.073)	0.018 (0.075)	-0.053 (0.066)
Patentes			0.003 (0.009)	0.012 (0.009)
Salário				0.219 (0.135)
Vínculos				0.008 (0.094)
Vulnerabilidade				0.122** (0.053)
Feminicídio				0.007 (0.010)
Homicídio				-0.041*** (0.009)
Morte no trânsito				-0.010 (0.008)
Latrocínio				-0.024*** (0.009)
Constante	-11.628*** (0.560)	-10.630*** (0.991)	-10.685*** (1.033)	-6.541*** (1.215)
Observações	750	595	565	565
R ²	0.404	0.246	0.252	0.391
Número de id_mun	176	165	156	156
Efeito Fixo no Município	Sim	Sim	Sim	Sim
Inferência Robusta	Sim	Sim	Sim	Sim

Erros-padrão entre parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Os resultados evidenciam que a nota do Enem continua sendo altamente significativa ($p < 0.01$) em todos os modelos. Embora a magnitude do coeficiente da nota do Enem diminua quando mais variáveis são adicionadas, ainda é possível aferir que um aumento de 1% na nota média do Enem está associado a um aumento de 1,34% na nota do ranking, sugerindo que a qualidade educacional é uma das principais alavancas para o desempenho da cidade no ranking de cidades inteligentes.

Os achados vão de encontro à literatura, evidenciando que a educação tem o potencial de impactar as demais dimensões urbanas e melhorar os índices das cidades inteligentes por meio de participação cidadã (Waghmare, 2024), desenvolvimento de habilidades e competências (Panagiotakopoulos et al., 2024), inclusão digital (Colding; Nilsson; Sjöberg, 2024), formação de força de trabalho qualificada (David; McNutt, 2019); fomento à pesquisa (Sethi et al., 2024) e desenvolvimento sustentável (Sharifi et al., 2024). Quando os esforços são concentrados em melhorar os diversos aspectos de uma cidade, é possível melhorar as condições de vida dos cidadãos urbanos (Wolniak; Jonek-Kowalska, 2021).

Outrossim, embora a variável CO_2 não tenha apresentado resultado significativo inicialmente, passou a apresentar um resultado significativo, mas negativamente correlacionado à variável dependente ($\beta = -0.059$; $p < 0.05$), o que indica que uma redução de 1% nas emissões de CO_2 está associado a um aumento de 0,059% na nota do ranking. Esse resultado reforça a importância dos fatores ambientais e do desenvolvimento sustentável para o desenvolvimento urbano. Neste sentido, estudos estão sendo feitos para reduzir a emissão de CO_2 (Ma; Wu, 2022; Neffati et al., 2021). O VTT Technical Research Centre na Finlândia é um exemplo de sucesso ao implementar um projeto de redução de custos de energia e emissões de CO_2 nas cidades de Helsinki, Nice e Vienna, reduzindo em 15% o custo de energia e em 30% as emissões de CO_2 (Zica; Ionica; Leba, 2018).

Além disso, as emissões de CO_2 estão diretamente relacionadas à qualidade de vida da população, visto que níveis elevados de emissões elevam a temperatura média do planeta. De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), as emissões globais cumulativas de CO_2 de 2011 a 2100 devem ser limitadas a 400 bilhões de toneladas para controlar o aumento da temperatura do planeta (Rogelj et al., 2018). A ONU (2025b), por meio do ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima – também defende a importância de aumentar a resiliência climática e reduzir a emissão de gases de efeito estufa por meio de políticas e estratégias públicas. Assim, a literatura destaca a importância desta variável e sua relação com o desenvolvimento urbano.

Em contrapartida, a variável *IGM* não foi significativa em nenhuma das estimações, indicando que seu desempenho não explica as variações no ranking de cidades inteligentes. Por se tratar de uma variável não observável, é possível que no período ou nas cidades observadas, a variável não esteja sendo efetiva para observar o impacto da governança. Outra possibilidade é a forma como a variável foi construída, visto ser constituída por um conjunto de outras variáveis, é possível que algumas já estejam representadas no modelo, como saúde, educação, vulnerabilidade, entre outras, causando multicolinearidade.

Todavia, a literatura avalia a governança como de extrema importância para o desenvolvimento urbano. Para Chourabi et al. (2012), a governança está entre os oito fatores críticos das cidades inteligentes, enquanto Nam e Pardo (2011) consideram a governança um princípio estratégico para o envolvimento dos cidadãos nas decisões urbanas. Em contextos marcados por complexidade e incerteza, como as cidades modernas, a governança em rede é vista como uma excelente opção para criar sinergia entre os diferentes atores urbanos e criar soluções conjuntas para os problemas urbanos. A governança deixa de ser monopolizada por gestores públicos e passa a ser apoiada por atores privados e sociedade civil, facilitando a criação de políticas públicas e serviços mais eficientes (Nesti; Graziano, 2020).

A variável *patente* também não é significativa, sugerindo que não há evidências suficientes para afirmar que esta variável tem um efeito estatisticamente significativo sobre a variável dependente. O depósito de patentes, embora valioso para o setor de P&D, frequentemente desenvolve aplicações que não são diretamente aplicadas na solução de problemas urbanos ou na melhoria de situações locais, em outras palavras, por vezes podem não beneficiar diretamente a região onde foram desenvolvidas (Kalleya et al., 2023; Puliga et al., 2023).

Além disso, neste painel a variável *salário* deixa de ser significativa, embora tenha mostrado relação com a variável dependente em painéis anteriores. Isso pode estar relacionado à inclusão das novas variáveis, pois quando ocorre colinearidade entre as variáveis, o erro padrão do coeficiente aumenta e sua significância estatística é reduzida.

As variáveis *vínculos*, *morte no trânsito* e *feminicídio*, mantiveram-se não significativas, como nos painéis anteriores. As variáveis *homicídio* e *latrocínio* permaneceram altamente significativas ($p < 0.01$) e negativas, sendo que a cada 1% de redução nos casos de homicídio, a nota da cidade aumenta em 0,041 no ranking, comparado a um aumento de 0,024 na nota do ranking para cada 1% na redução de casos de latrocínios.

Por fim, a variável *vulnerabilidade* manteve-se positiva e significativa ($\beta = 0.122$; $p < 0.05$), indicando que um aumento de 1% na vulnerabilidade está associado a um aumento de 0.122% na nota do ranking. Isso provavelmente está atrelado a construção da variável, uma vez que foram utilizados dados do CadÚnico. Cidades que cadastram seus cidadãos em situação de vulnerabilidade em programas de apoio social melhoram a qualidade de vida dos cidadãos e, por consequência, melhor se posicionam no ranking de cidades inteligentes. A literatura aponta que os programas sociais para pessoas vulneráveis, como o Bolsa Família, têm sido eficazes na mitigação da pobreza no Brasil. No entanto, seu impacto pode variar de acordo com a região, com as políticas públicas e com a gestão municipal (Amaral; Maia; dos Santos, 2024). Isso vai de encontro aos achados do presente estudo, evidenciando que os cadastros no CadÚnico tendem a reduzir o índice de pobreza e vulnerabilidade e, portanto, está associado ao aumento da nota no ranking.

Uma vez analisados os resultados do Painel D, um novo foi gerado (Painel E), adicionando duas variáveis referentes à área de saúde: número de médicos e número de leitos. A Tabela 6 apresenta os resultados do novo painel.

De forma geral, é possível perceber que mesmo adicionando outras variáveis de controle associadas às dimensões urbanas, a qualidade educacional medida pela nota do Enem permanece significativa para o desenvolvimento de cidades inteligentes, apresentando coeficientes relevantes ($\beta = 0,744$; $p < 0.01$) quando comparada à outras variáveis, sendo a variável que mais explica o modelo. Em termos de elasticidade, o aumento de 1% nas notas do Enem indica o aumento de 0,74% nas notas do ranking de cidades inteligentes. Embora o coeficiente tenha sido inferior comparado aos painéis anteriores, os resultados atestam a importância da qualidade educacional na construção de cidades inteligentes. Isso evidencia a importância de políticas públicas voltadas à educação de qualidade, haja visto que seus resultados repercutem no desenvolvimento urbano.

Os resultados do Painel E mostram que a variável *número de leitos* não é estatisticamente significativa em nenhum dos modelos, indicando que a quantidade de leitos hospitalares, por si só, não tem um efeito direto na classificação das cidades no ranking. Esse resultado pode estar relacionado a fatores como a distribuição desigual dos leitos ou à necessidade de considerar outros aspectos da infraestrutura hospitalar, como qualidade do atendimento, equipamentos médicos disponíveis e eficiência na gestão hospitalar. Além disso, a influência do número de leitos pode depender mais de sua alocação estratégica e da demanda local do que de sua quantidade absoluta.

Tabela 6 - Painei E

Variáveis	Com Controles	Com Controles	Com Controles
Nota do Enem	2.238*** (0.081)	1.676*** (0.140)	0.744*** (0.265)
Leitos	0.001 (0.023)	-0.034 (0.029)	0.033 (0.040)
Médicos		0.160*** (0.030)	0.312*** (0.054)
CO ₂			-0.068*** (0.026)
IGM			-0.037 (0.064)
Patentes			0.007 (0.009)
Salário			0.092 (0.102)
Vínculos			-0.024 (0.095)
Vulnerabilidade			0.059 (0.042)
Feminicídio			0.004 (0.009)
Homicídio			-0.041*** (0.008)
Morte no trânsito			-0.007 (0.008)
Latrocínio			-0.023*** (0.008)
Constante	-10.755*** (0.503)	-7.669*** (0.797)	-3.110*** (1.459)
Observações	850	850	565
R ²	0.402	0.434	0.459
Número de id_mun	183	183	156
Efeito Fixo no Município	Sim	Sim	Sim
Inferência Robusta	Sim	Sim	Sim

Erros-padrão entre parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Em contrapartida, o número de médicos apresentou um efeito positivo e significativo no segundo e terceiro modelos ($\beta = 0,160$ e $\beta = 0,312$; $p < 0.01$), sugerindo que um maior número de médicos está associado a um melhor desenvolvimento das cidades inteligentes. Em termos de elasticidade, este resultado sugere que um aumento de 1% no número de médicos aumenta em 0,312% a nota do ranking de cidades inteligentes. Este achado vai ao encontro da literatura acadêmica, que defende que o número de médicos está relacionado com o progresso de uma cidade (Silberman; Silberman, 2022) e a qualidade de vida dos cidadãos urbanos (Ajitha et al., 2022).

Esse resultado reforça a importância da presença de profissionais da saúde na estruturação de cidades mais eficientes e sustentáveis, uma vez que um maior contingente de médicos pode melhorar o acesso da população a serviços preventivos e emergenciais, reduzir taxas de mortalidade e contribuir para uma gestão mais equilibrada do sistema de saúde (Ajitha et al., 2022). Assim, a disponibilidade destes profissionais melhora os indicadores de saúde e impulsiona o desenvolvimento econômico e social das cidades, tornando-as mais resilientes e preparadas para desafios futuros.

Outras variáveis também apresentaram efeitos estatisticamente significativos. O nível de emissões de CO₂ demonstrou um impacto negativo no ranking das cidades inteligentes ($\beta = -0,068$; $p < 0.01$), sugerindo que maiores níveis de poluição podem comprometer o desenvolvimento urbano. Esse achado está alinhado com discussões sobre sustentabilidade e qualidade ambiental como pilares fundamentais para cidades inteligentes (Guo; Wang; Dong, 2022; Chatti; Khan, 2024). Altos níveis de CO₂ podem estar associados a problemas de saúde pública, como doenças respiratórias e cardiovasculares, o que impacta diretamente a qualidade de vida dos cidadãos e a produtividade econômica das cidades (Xu; Wang; Zhu, 2023).

A relação negativa entre emissões de CO₂ e o desenvolvimento urbano reforça a importância de políticas voltadas para a transição energética, mobilidade sustentável e uso eficiente de recursos naturais em cidades inteligentes. Estratégias como a adoção de transporte público limpo, investimentos em energia renovável e o planejamento urbano focado na redução das emissões são fundamentais para mitigar os efeitos da poluição e promover um crescimento sustentável (Chatti; Khan, 2024; Ma; Wu, 2022). Dessa forma, a sustentabilidade ambiental se consolida como um fator essencial para a construção de cidades inteligentes mais resilientes e habitáveis.

Além disso, variáveis relacionadas à segurança pública, como homicídios ($\beta = -0,041$; $p < 0.01$) e latrocínios ($\beta = -0,023$; $p < 0.01$), também apresentaram coeficientes negativos e significativos. Esse resultado sugere que altos índices de criminalidade podem comprometer a atratividade das cidades, afetando os investimentos, o turismo e a qualidade de vida da população. A insegurança reduz a mobilidade dos cidadãos, limita o uso dos espaços públicos e pode desencorajar o estabelecimento de novos negócios. A violência urbana impõe altos custos ao setor público, tanto em termos de segurança quanto de saúde, ao aumentar a demanda por serviços médicos e hospitalares para vítimas de crimes. Assim, políticas eficazes de segurança pública, que combinem monitoramento inteligente, policiamento comunitário e investimentos em educação e inclusão social, são essenciais para garantir um ambiente urbano seguro e propício ao desenvolvimento sustentável das cidades inteligentes (Kohli; Singh, 2021).

O aumento do R^2 entre os modelos (de 0,402 para 0,459) indica que a inclusão de novas variáveis melhora a capacidade explicativa do modelo, demonstrando que diferentes fatores urbanos contribuem para o desempenho das cidades inteligentes. No entanto, mesmo com o acréscimo de variáveis de saúde, a qualidade educacional se mantém como uma das principais determinantes do desenvolvimento urbano. Isso sugere que políticas públicas voltadas para a qualificação da mão de obra e a melhoria do acesso à educação podem ser estratégias centrais para a construção de cidades mais eficientes, inovadoras e sustentáveis.

A seguir, o Painel F foi construído a partir da seleção das variáveis que apresentaram significância estatística no Painel E, e da adição de novas variáveis que representam indicadores de qualidade educacional. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Painel F

Variáveis	(1) Com Controles	(2) Com Controles	(3) Com Controles	(4) Com Controles	(5) Com Controles	(6) Com Controles	(7) Com Controles
Nota do Enem	1.541*** (0.171)	1.243*** (0.176)	1.276*** (0.178)	1.004*** (0.220)	1.099*** (0.219)	1.113*** (0.223)	1.132*** (0.207)
Alunos por turma	-0.202* (0.111)	-0.189* (0.107)	-0.043 (0.105)	0.018 (0.112)	0.106 (0.109)	0.118 (0.113)	0.117 (0.115)
Horas-aula diária		0.343*** (0.080)	0.175** (0.081)	0.131 (0.095)	0.109 (0.094)	0.109 (0.093)	0.124 (0.098)
Distorção idade-série			-0.156*** (0.031)	-0.120*** (0.034)	-0.113*** (0.039)	-0.113*** (0.038)	-0.106*** (0.036)
Aprovação				0.471*** (0.102)	0.308*** (0.112)	0.314*** (0.110)	0.344*** (0.109)
Abandono					-0.030** (0.012)	-0.030** (0.012)	-0.037*** (0.010)
Adequação docente						-0.024 (0.035)	-0.028 (0.034)
Regularidade docente							-0.002 (0.010)
Médicos	0.187*** (0.043)	0.172*** (0.040)	0.147*** (0.037)	0.155*** (0.044)	0.175*** (0.050)	0.173*** (0.050)	0.152*** (0.047)
CO ₂	-0.018 (0.017)	-0.018 (0.018)	-0.021 (0.020)	-0.017 (0.021)	-0.015 (0.018)	-0.015 (0.018)	-0.016 (0.018)
Homicídio	-0.021** (0.010)	-0.022** (0.010)	-0.018* (0.009)	-0.013 (0.010)	-0.012 (0.009)	-0.013 (0.009)	-0.012 (0.009)
Latrocínio	-0.022*** (0.008)	-0.019** (0.008)	-0.022*** (0.007)	-0.022** (0.009)	-0.020** (0.009)	-0.020** (0.009)	-0.020** (0.009)
Constante	-6.355*** (1.033)	-5.026*** (1.064)	-4.934*** (1.091)	-5.594*** (1.371)	-5.780*** (1.316)	-5.833*** (1.325)	-6.029*** (1.311)
Observações	735	735	735	635	631	631	612
R ²	0.475	0.487	0.506	0.503	0.516	0.516	0.521
Número de id_mun	174	174	174	168	167	167	162
Efeito Fixo no Município	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Inferência Robusta	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Erros-padrão entre parênteses.

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

O Painel F foi estruturado garantindo que apenas as variáveis que mantiveram sua relevância, mesmo após a adição de diversos controles, fossem analisadas de maneira mais aprofundada. Esse novo modelo teve como principal objetivo examinar a influência de indicadores de qualidade educacional no desenvolvimento de cidades inteligentes, adicionando variáveis específicas de qualidade educacional para compreender quais aspectos da educação impactam o desempenho urbano.

Os resultados do Painel F reforçam a importância da qualidade educacional, uma vez que a Nota do Enem permanece estatisticamente significativa em todos os modelos, com coeficientes elevados ($\beta = 1,132$ no último modelo; $p < 0.01$). Em termos de elasticidade, este resultado sugere que um aumento de 1% na nota do Enem aumenta em 1,541% a nota das cidades inteligentes. Esse achado confirma que um melhor desempenho educacional está associado ao progresso das cidades inteligentes, refletindo a relação entre capital humano e desenvolvimento urbano sustentável. Com base neste resultado, a hipótese H1₁ foi aceita, pois a qualidade educacional, baseada nas notas do Enem, contribui positivamente para o desenvolvimento das cidades inteligentes.

A variável alunos por turma apresentou coeficientes negativos e estatisticamente significativos nos dois primeiros modelos do Painel F ($\beta = -0.202$ e $\beta = -0.189$; $p < 0.1$), sugerindo que turmas mais numerosas podem estar associadas a um impacto negativo no desenvolvimento das cidades inteligentes. No entanto, à medida que outras variáveis educacionais foram adicionadas ao modelo, essa relação perdeu significância estatística, indicando que o tamanho das turmas, por si só, pode não ser um fator determinante para o progresso urbano quando outros aspectos da qualidade educacional, como distorção idade-série, aprovação e abandono, são levados em consideração.

Esse resultado sugere que o impacto do número de alunos por turma pode depender de outros fatores estruturais, como a qualidade dos professores, disponibilidade de recursos educacionais e métodos de ensino (Moraes, 2023). Em alguns contextos, salas de aula menores podem proporcionar um ensino mais individualizado e eficiente, enquanto em outros, a gestão pedagógica pode mitigar os efeitos negativos do tamanho das turmas (de Mello et al., 2007). A perda de significância estatística ao longo dos modelos reforça a ideia de que a qualidade da educação é um fator multifacetado e não pode ser reduzido apenas ao número de alunos por sala. A partir dos resultados encontrados a hipótese alternativa H4₁ foi rejeitada, já que o efeito negativo desaparece conforme o modelo se torna mais robusto.

A variável horas-aula diária apresentou um efeito positivo e estatisticamente significativo nos primeiros modelos do Painel F ($\beta = 0.343$ e $\beta = 0.175$; $p < 0.05$), sugerindo que um maior tempo de instrução diária pode estar associado a um impacto positivo no desenvolvimento das cidades inteligentes. No entanto, à medida que novas variáveis educacionais foram adicionadas, esse efeito perdeu significância estatística, indicando que o tempo de aula, de forma isolada, pode não ser um fator determinante para o progresso urbano. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que o impacto do tempo de aula depende da qualidade do ensino, do engajamento dos alunos e da eficácia dos métodos pedagógicos utilizados (Cappelarri et al., 2023).

Em ambientes escolares bem estruturados, um maior número de horas-aula pode proporcionar um aprendizado mais aprofundado e consistente, enquanto em sistemas com desafios estruturais, como a falta de professores qualificados e de materiais didáticos adequados, a simples ampliação do tempo de aula pode não resultar necessariamente em melhores resultados educacionais (Cappelarri et al., 2023). A perda de significância estatística em modelos mais robustos sugere que outras variáveis educacionais, como distorção idade-série e aprovação, podem ser melhores preditoras da relação entre qualidade da educação e desenvolvimento urbano. Isso reforça a ideia de que políticas educacionais devem focar na qualidade e na eficiência do ensino, mais do que no número de horas-aula. Com base nos resultados do último painel, a hipótese H5₁ foi rejeitada, pois o efeito positivo da variável horas-aula diária se tornou estatisticamente insignificante nos modelos mais completos.

A variável distorção idade-série apresentou um efeito negativo e estatisticamente significativo em todos os modelos em que foi incluída no Painel F ($\beta = -0.106$ no último modelo; $p < 0.01$). Esses resultados indicam que uma maior discrepância entre a idade dos alunos e o ano escolar adequado está associada a um impacto negativo no desenvolvimento das cidades inteligentes. A distorção idade-série é frequentemente utilizada como um indicador da qualidade educacional, pois reflete problemas estruturais do sistema de ensino, como altas taxas de repetência, evasão escolar e deficiências no aprendizado (Barros et al., 2023). Alunos que acumulam atrasos escolares podem enfrentar dificuldades para concluir a educação básica no tempo correto, o que pode comprometer sua inserção no mercado de trabalho e reduzir suas oportunidades de desenvolvimento social e econômico (Nogueira; Silva, 2022).

O impacto negativo dessa variável no ranking das cidades inteligentes sugere que municípios com menores taxas de distorção idade-série tendem a apresentar um ambiente educacional mais eficiente, com ensino de melhor qualidade e menor desigualdade no acesso à educação. Além disso, a redução dessa distorção pode estar associada a uma população

economicamente mais ativa e qualificada, contribuindo para o crescimento urbano sustentável e o aumento da competitividade local. Dessa forma, os resultados reforçam a importância de políticas educacionais que promovam a permanência dos alunos na escola, intervenções pedagógicas eficazes e estratégias de recuperação da defasagem escolar, garantindo um sistema de ensino mais equitativo e eficiente. A partir dos resultados, a hipótese H7₁ foi aceita, pois a distorção idade-série contribui negativamente para o desenvolvimento das cidades inteligentes.

A variável taxa de aprovação escolar apresentou um efeito positivo e estatisticamente significativo em todos os modelos em que foi incluída no Painel F ($\beta = 0.344$; $p < 0.01$). Isso indica que cidades com maiores taxas de aprovação escolar tendem a ter um melhor desempenho no ranking das cidades inteligentes. A aprovação escolar reflete diretamente a eficiência do sistema educacional, sugerindo que os alunos estão conseguindo progredir dentro do fluxo escolar adequado (Noronha et al., 2023). Altas taxas de aprovação podem estar relacionadas a um ensino mais eficiente, melhores condições de aprendizado, professores qualificados e maior engajamento dos estudantes. Além disso, a aprovação está ligada a menores índices de evasão escolar, garantindo que os jovens concluam sua formação no tempo correto e estejam mais preparados para o mercado de trabalho (Seabra; Cândido, 2020).

O impacto positivo dessa variável no desenvolvimento das cidades inteligentes pode ser explicado pelo fato de que uma população mais educada e qualificada impulsiona a inovação, a produtividade econômica e a capacidade de adaptação às novas tecnologias (Seabra; Cândido, 2020). Além disso, a presença de um sistema educacional eficiente contribui para a redução da desigualdade social, o que pode resultar em melhorias na segurança pública, na empregabilidade e na qualidade de vida (Glewwe; Kassouf, 2008). Esses achados reforçam a importância de políticas públicas voltadas para a melhoria do ensino fundamental e médio, com investimentos na formação docente, no desenvolvimento de metodologias pedagógicas mais eficazes e na criação de estratégias para reduzir a reprovação e a evasão escolar. Com base nos resultados, a hipótese H8₁ foi aceita, uma vez que a taxa de aprovação contribui positivamente para o desenvolvimento das cidades inteligentes.

A variável abandono escolar apresentou um coeficiente negativo e estatisticamente significativo nos modelos em que foi incluída no Painel F ($\beta = -0.037$; $p < 0.01$). Esses resultados indicam que maiores taxas de abandono escolar impactam negativamente o desenvolvimento das cidades inteligentes, reforçando a importância da permanência dos alunos no sistema educacional. O abandono escolar é um indicador crítico da qualidade do sistema educacional e está diretamente relacionado a diversos fatores socioeconômicos, como desigualdade, pobreza e falta de oportunidades (Ferreira; Ribeiro; Tafner, 2022). Quando os

alunos deixam a escola antes de completar sua educação, suas perspectivas de emprego e renda diminuem significativamente, o que pode levar ao aumento da informalidade no mercado de trabalho e ao menor desenvolvimento econômico da cidade (Paul; Rashmi; Srivastava, 2021). Isso afeta a capacidade da cidade de inovar e crescer de forma sustentável, uma característica essencial das cidades inteligentes.

Outrossim, altas taxas de abandono escolar podem estar associadas ao aumento da criminalidade e da exclusão social, fatores que impactam negativamente a qualidade de vida e o bem-estar da população urbana. Em cidades inteligentes, onde a educação é um pilar fundamental para o progresso e a sustentabilidade, políticas públicas eficazes para reduzir o abandono escolar são essenciais. Isso inclui investimentos em programas de assistência estudantil, políticas de inclusão digital, suporte psicopedagógico e incentivo à formação de professores qualificados. Os resultados do Painel F reforçam que a educação não deve ser analisada apenas pelo desempenho acadêmico dos alunos, mas também pela capacidade do sistema educacional de manter os estudantes na escola e garantir sua progressão. Assim, estratégias que reduzam o abandono escolar podem gerar efeitos positivos diretos no desenvolvimento urbano, na empregabilidade e na construção de sociedades mais equitativas. Com base nisso, a hipótese H2₁ foi aceita, uma vez que os resultados indicam que o abandono escolar afeta negativamente o desenvolvimento das cidades inteligentes.

Em contrapartida, as variáveis adequação da formação docente e regularidade do corpo docente não apresentaram significância estatística nos modelos do Painel F, indicando que, dentro deste contexto específico, esses fatores não tiveram um impacto direto e mensurável no desenvolvimento das cidades inteligentes. Mais especificamente, a variável adequação docente apresentou um coeficiente negativo ($\beta = -0.028$), mas sem significância estatística. Esse resultado sugere que a correspondência entre a formação do professor e a disciplina que ele leciona pode não ser um fator determinante para o desempenho no ranking de cidades inteligentes. No entanto, isso não significa que a qualificação docente seja irrelevante, mas sim que outros fatores podem ser mais preponderantes na explicação do desenvolvimento urbano. A partir dos achados, a hipótese H3₁ foi rejeitada, pois a adequação docente não mostrou efeito significativo.

Já a variável regularidade do corpo docente, que mede a estabilidade dos professores nas escolas, apresentou um coeficiente muito próximo de zero ($\beta = -0.002$), reforçando a ausência de impacto significativo na análise. Esse achado pode indicar que a rotatividade dos professores, embora importante para a continuidade do ensino, não se mostrou um fator crítico para o desenvolvimento das cidades inteligentes dentro do escopo deste estudo. Assim, a

hipótese H6₁ também foi rejeitada, pois a regularidade do corpo docente não afetou diretamente o desenvolvimento das cidades inteligentes no contexto analisado.

Cabe ressaltar que estes resultados podem ser interpretados de diferentes formas. Uma possibilidade é que a adequação e a estabilidade dos docentes sejam fatores que afetam o aprendizado dos alunos a longo prazo (Saini et al., 2022), mas seu efeito pode não ser tão imediato ou forte quanto outras variáveis, como a taxa de aprovação e a distorção idade-série, que apresentaram significância estatística. Outra explicação pode estar na qualidade da infraestrutura educacional e na metodologia de ensino, que podem mitigar eventuais problemas relacionados à adequação e regularidade dos docentes.

No que tange às variáveis previamente analisadas, que estão vinculadas às dimensões urbanas, a variável número de médicos manteve-se significativa em todos os modelos ($\beta = 0.152$; $p < 0.01$), reiterando que o acesso a profissionais de saúde está diretamente ligado ao desenvolvimento urbano, qualidade de vida e eficiência dos serviços públicos (Costa; Guerra; Leite, 2022). Por outro lado, a variável emissões de CO₂, que havia sido significativa no Painel E, não se mostrou estatisticamente relevante no Painel F, sugerindo que a influência da poluição pode ser melhor capturada por outros fatores ambientais não incluídos nesta modelagem.

No que diz respeito à segurança pública, as variáveis homicídio e latrocínio continuaram apresentando coeficientes negativos, mas somente latrocínio permaneceu significativo ($\beta = -0.020$; $p < 0.05$). Isso reforça que altos índices de criminalidade impactam negativamente o desenvolvimento das cidades, dificultando investimentos, aumentando custos públicos e reduzindo a qualidade de vida dos cidadãos (Ifediora, 2021).

Por fim, o aumento do R², que variou de 0.475 a 0.521 entre os modelos do Painel F, sugere que a inclusão de indicadores educacionais aprimorou a capacidade explicativa do modelo, demonstrando que a qualidade educacional é um fator determinante para o desempenho das cidades inteligentes. Este resultado evidencia que as variáveis educacionais adicionadas, especialmente a nota do Enem, a taxa de aprovação e a distorção idade-série, têm um papel relevante no desenvolvimento das cidades inteligentes. No entanto, como o R² não atingiu valores muito elevados, isso reforça a necessidade de considerar outros fatores complementares que influenciam o desempenho urbano, como infraestrutura, inovação, segurança e políticas de sustentabilidade em estudos futuros. O Quadro 9 apresenta uma síntese das hipóteses alternativas previamente propostas e analisadas.

Quadro 9 - Síntese das hipóteses alternativas

Variável	Hipótese alternativa	Coefficiente (β)	p-value	Resultado
Notas do Enem	H1 ₁ : A qualidade educacional, baseada nas notas do Enem, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.	1.132	p<0.01	Aceita
Abandono escolar	H2 ₁ : A qualidade educacional, representada pelo índice de abandono escolar, afeta negativamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.	-0.037	p<0.01	Aceita
Adequação da formação docente	H3 ₁ : A qualidade educacional, representada pela adequação da formação docente, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.	-0.028	-	Rejeitada
Média de alunos por turma	H4 ₁ : A qualidade educacional, representada pelo número médio de alunos por turma, contribui negativamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.	0.117	-	Rejeitada
Média de horas-aula diária	H5 ₁ : A qualidade educacional, medida pela média de horas-aula diária, afeta positivamente o desenvolvimento de cidades inteligentes.	0.124	-	Rejeitada
Regularidade do corpo docente	H6 ₁ : A qualidade educacional, representada pela regularidade do corpo docente, tem relação positiva com o desenvolvimento de cidades inteligentes.	-0.002	-	Rejeitada
Distorção idade-série	H7 ₁ : A qualidade educacional, quando mensurada pela distorção idade-série, contribui negativamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.	-0.106	p<0.01	Aceita
Taxa de aprovação	H8 ₁ : A qualidade educacional, quando mensurada pela taxa de aprovação dos estudantes, contribui positivamente para o desenvolvimento de cidades inteligentes.	0.344	p<0.01	Aceita

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Em suma, os resultados obtidos destacam a importância de diversos fatores da qualidade educacional no desenvolvimento de cidades inteligentes. A qualidade educacional, quando representada pelas notas do Enem, taxa de aprovação, abandono escolar e distorção idade-série, mostrou-se como um determinante significativo das cidades inteligentes, evidenciando a forte conexão entre capital humano e progresso urbano. Embora variáveis como o número de alunos por turma e horas-aula diária inicialmente apresentassem alguma relevância, os efeitos positivos ou negativos se dissiparam quando outras variáveis educacionais foram consideradas, sugerindo que fatores estruturais e metodológicos podem mediar essas relações. Além disso, as altas taxas de abandono escolar revelaram um impacto negativo direto no desenvolvimento das cidades inteligentes, reforçando a necessidade de políticas educacionais que garantam a permanência e a conclusão do ciclo educacional.

Por fim, os achados ressaltam a complexidade da interação entre a educação e o desenvolvimento urbano, sugerindo que políticas públicas bem estruturadas devem abordar de maneira integrada as múltiplas dimensões da qualidade educacional, incluindo a formação de docentes, o acesso a recursos e a gestão do sistema educacional, para promover um crescimento urbano mais inteligente.

4.3 IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

Os resultados da análise indicam que a qualidade educacional é um fator determinante no desenvolvimento das cidades inteligentes, e que o sucesso no ranking está intimamente relacionado com variáveis educacionais, como as notas do Enem, a taxa de aprovação escolar e a distorção idade-série. O abandono escolar também teve um impacto significativo, refletindo a necessidade de políticas públicas que abordem de forma integral as diversas dimensões da educação. A seguir, são apresentadas as principais implicações deste estudo para as políticas públicas.

A primeira (i) implicação dos achados para as políticas públicas está relacionada à priorização da qualidade educacional como pilar para o desenvolvimento urbano. A análise evidenciou a importância de variáveis como as notas do Enem e a taxa de aprovação para o desempenho das cidades inteligentes. Esses fatores refletem diretamente a qualidade do sistema educacional e, consequentemente, a capacitação da população (Molnar, 2021). Para garantir que as cidades se tornem mais inteligentes e sustentáveis, é fundamental que as políticas públicas priorizem a melhoria da educação em todos os níveis, com foco especial no ensino fundamental e médio. Para isso recomendam-se ações como: aumento do investimento em formação docente, principalmente em metodologias pedagógicas inovadoras que estimulem o aprendizado de alta qualidade, em infraestrutura escolar, garantindo um ambiente propício para o ensino e aprendizado, em equipamentos adequados, acessibilidade e tecnologia.

A segunda (ii) implicação está relacionada ao desenvolvimento de políticas públicas de inclusão e permanência escolar. A distorção idade-série e o abandono escolar apresentaram impactos negativos significativos no desenvolvimento das cidades inteligentes. Isso reflete um sistema educacional que, muitas vezes, falha em garantir que todos os alunos permaneçam na escola até a conclusão de seus estudos (Cruz et al., 2021). A evasão escolar, especialmente entre populações em situação de vulnerabilidade, diminui as oportunidades de qualificação profissional e aumenta a desigualdade social, impactando negativamente a cidade como um todo (Ferreira; Ribeiro; Tafner, 2022).

Com base nisso, recomenda-se a criação de políticas de incentivo à permanência escolar, como programas de assistência estudantil, bolsas de estudo, e apoio psicopedagógico para alunos em risco de evasão. Também é necessário fomentar a inclusão digital e o acesso a materiais educacionais que atendam a diversas realidades sociais, promovendo a equidade no acesso à educação. Outra ação importante é desenvolver programas de recuperação de aprendizagem para reduzir a defasagem escolar e garantir que os alunos avancem no ciclo educacional sem comprometer a qualidade do aprendizado.

Outra implicação (iii) dos achados está relacionada à atenção na formação e estabilidade docente. Embora a adequação da formação docente e a regularidade do corpo docente não tenham mostrado efeitos imediatos significativos, a literatura sugere que a qualificação docente e a estabilidade e remuneração adequada na profissão podem influenciar a qualidade do ensino a longo prazo (Adel; Alani, 2024). Assim, considera-se que essas variáveis são fundamentais para garantir uma educação de qualidade e reduzir as desigualdades educacionais (Bethônico; Neto, 2024). Sugerem-se ações que fomentem a formação contínua dos professores, com programas de atualização e desenvolvimento profissional que preparem os educadores para os desafios do ensino no contexto das cidades inteligentes. Também é necessário promover a estabilidade e a valorização da carreira docente por meio de políticas de remuneração justa, redução da rotatividade e criação de um ambiente de trabalho acolhedor e profissional.

Outro ponto a ser considerado (iv) é a necessidade de criar meios para combater os desafios da criminalidade nos espaços urbanos. Como observado neste estudo e de acordo com a literatura pesquisada, as altas taxas de abandono escolar estão intimamente relacionadas a fatores socioeconômicos, como pobreza e desigualdade social, que podem ser agravados pela violência e criminalidade (Bonito et al., 2021; Santos et al., 2024). De acordo com os resultados, o latrocínio teve um impacto negativo no desenvolvimento das cidades inteligentes, apontando que a insegurança pode afetar diretamente a qualidade de vida da população. Sugerem-se políticas de segurança pública focadas na redução da criminalidade, a fim de garantir um ambiente seguro para os estudantes, as famílias e a comunidade escolar. Também é possível buscar meios de fomentar parcerias entre escolas, comunidades e forças de segurança, para garantir que as áreas de risco tenham apoio de programas sociais voltados para a educação e inclusão social, prevenindo a evasão e promovendo a segurança na escola.

O desenvolvimento de políticas integradas de educação e saúde (v) também podem melhorar os índices educacionais e de desenvolvimento urbano. De acordo com os achados deste estudo, a presença de médicos nas cidades é um fator relevante para o desenvolvimento das cidades inteligentes (Costa; Guerra; Leite, 2022). Isso sugere que a saúde da população tem

um impacto direto na capacidade dos indivíduos de participar ativamente da educação e contribuir para o desenvolvimento da cidade (Silberman; Silberman, 2022). Portanto, políticas públicas que integrem educação e saúde são essenciais para o crescimento urbano sustentável. Com base nisso, sugerem-se ações voltadas a programas de saúde escolar, com foco na prevenção e no cuidado com o bem-estar biopsicossocial dos estudantes, para garantir que tenham as condições adequadas para aprender e se desenvolver. Integrar a educação com a saúde pública, promovendo ações intersetoriais que ofereçam não apenas ensino de qualidade, mas também condições de vida saudáveis para a população escolar, pode fazer a diferença para melhorar os índices escolares e de desenvolvimento urbano.

Os achados deste estudo evidenciam que as variáveis educacionais — como qualidade do ensino, permanência escolar e redução da evasão — impactam diretamente o desempenho das cidades inteligentes, reforçando a necessidade de que políticas públicas urbanas não podem se restringir a infraestrutura física e tecnológica, mas devem integrar dimensões sociais fundamentais para a qualificação do capital humano e, consequentemente, para o fortalecimento da capacidade adaptativa e inovadora dos territórios.

Em cidades de grande porte, onde os desafios urbanos são mais complexos e os processos de segregação socioespacial mais acentuados, o planejamento urbano precisa incorporar políticas educacionais que visem reduzir as desigualdades territoriais no acesso e na qualidade da educação. A territorialização das políticas públicas torna-se fundamental, com ações que reconheçam as especificidades dos diferentes bairros e regiões, garantindo infraestrutura educacional adequada, segurança e apoio social, especialmente nas áreas periféricas. Assim, práticas integradas entre educação, mobilidade, habitação e segurança pública podem contribuir para a construção de cidades mais inclusivas e inteligentes.

Já em cidades de médio porte, que muitas vezes vivenciam processos de crescimento desordenado e carecem de recursos técnicos e financeiros, as evidências reforçam a necessidade de consolidar sistemas educacionais eficientes como estratégia para atrair investimentos e qualificar a mão de obra local, reduzindo a dependência econômica e fortalecendo a autonomia regional. O fortalecimento da educação pode, nesse contexto, ser um vetor para o desenvolvimento sustentável, prevenindo a reprodução das desigualdades típicas dos grandes centros urbanos.

Por fim, em cidades de pequeno porte, a integração entre políticas educacionais e planejamento territorial é igualmente estratégica, mas assume um caráter de fortalecimento das capacidades locais. Investir em educação nessas localidades pode conter fluxos migratórios forçados em direção aos centros maiores, criando oportunidades de desenvolvimento endógeno

e evitando o esvaziamento econômico e demográfico. Além disso, qualificar a população local é essencial para permitir que essas cidades possam adotar soluções tecnológicas apropriadas, tornando-se participantes da lógica das cidades inteligentes, ainda que em menor escala.

De modo geral, as evidências mostram que o fortalecimento das políticas educacionais deve ser entendido como uma prioridade transversal nos processos de planejamento urbano e regional, independentemente do porte das cidades. A educação promove a capacitação individual e potencializa a capacidade coletiva de inovar, gerir e transformar o espaço urbano de forma mais sustentável, equitativa e inteligente.

Por fim, a análise mostrou que o aumento do R^2 a partir da inclusão de indicadores educacionais, indica que a gestão pública deve ser mais integrada e focada no desenvolvimento educacional, juntamente com fatores complementares, como infraestrutura, segurança e inovação. A educação, embora seja um pilar essencial, não deve ser tratada isoladamente, mas como parte de um ecossistema urbano mais amplo e interdependente (Molnar, 2021). Com base nisso e dada a importância das tecnologias digitais para o desenvolvimento de cidades inteligentes, sugere-se ampliar a adoção de soluções tecnológicas e inovadoras para a gestão educacional, como o uso de plataformas digitais para o ensino, a fim de garantir que as cidades inteligentes possam se adaptar e continuar a promover o desenvolvimento sustentável.

Em suma, os resultados desta pesquisa fornecem uma base para a formulação de políticas públicas que visem o desenvolvimento das cidades inteligentes, com a educação como um dos principais motores desse processo. Para que as cidades possam se tornar mais inclusivas, inovadoras e sustentáveis, é fundamental que as políticas educacionais sejam pensadas de forma integrada com outros fatores do sistema urbano. O impacto positivo da qualidade educacional sobre o desempenho das cidades inteligentes reforça a necessidade de ações coordenadas e estruturadas, com foco na promoção da equidade e na capacitação de capital humano, essencial para o progresso urbano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propôs analisar a relação entre a qualidade educacional e o desenvolvimento das cidades inteligentes brasileiras. Mais especificamente, foram coletados dados de diferentes bases, no período de 2015 a 2023, para a estimação de modelos em painel. As hipóteses testadas abordaram aspectos cruciais da qualidade educacional, como as notas do Enem, taxas de aprovação, distorção idade-série, entre outros, e suas possíveis influências no desempenho das cidades inteligentes no Brasil.

Como métrica de inteligência das cidades brasileiras, este estudo utilizou o ranking Connected Smart Cities, sendo seu uso metodologicamente justificável, dada sua abrangência e a sistematização de múltiplos indicadores. Cabe reconhecer, no entanto, que os rankings e índices de inteligência urbana, de forma isolada, possuem limitações no que tange a suas capacidades de considerar as diversas camadas da malha urbana, principalmente questões sociais, históricas e políticas. A concepção de inteligência urbana veiculada por rankings frequentemente se ancora em um paradigma tecnocrático, em que inovação, eficiência e conectividade são vistos como sinônimos de desenvolvimento urbano inteligente. Essa perspectiva pode ofuscar a necessidade de se considerar a cidade como um espaço socialmente construído, atravessado por relações de poder, desigualdades históricas e formas diversas de apropriação do território. Pesquisas futuras podem se aprofundar nestas questões.

Os resultados apresentados nesta pesquisa contribuem de maneira significativa para o entendimento do papel da qualidade educacional no desenvolvimento das cidades inteligentes brasileiras. A partir da estimação dos diferentes painéis foi possível observar que, mesmo com a inclusão de variáveis de controle associadas a diferentes dimensões urbanas, a qualidade educacional permanece consistentemente significativa e apresenta coeficientes robustos ao longo de todos os modelos. Isso ocorre porque, como observado na literatura, a educação, quando de qualidade, transforma o pilar social do espaço urbano por meio de indivíduos qualificados que participam ativamente das decisões tomadas pelos gestores públicos. A participação cidadã ativa auxilia na compreensão adequada e na construção de soluções mais assertivas para os problemas locais.

Para cumprir com os objetivos da tese, os modelos foram estimados com método de efeitos fixos, que mostraram que a qualidade educacional medida pelas notas do Enem apresentou coeficiente significativo em todos os modelos, o que é coerente devido ao impacto da educação nas dimensões urbanas. Após adicionar todas as variáveis de controle, atesta-se

que o aumento de 1% na nota média do Enem leva a um aumento esperado 1,132% na nota das cidades do ranking de cidades inteligentes.

Das variáveis de qualidade educacional testadas no Painel F, a distorção idade-série, a taxa de aprovação e a taxa de abandono mostraram-se significativas para o desenvolvimento de cidades inteligentes, indicando que menores taxas de distorção e de abandono, e maiores taxas de aprovação impactam significativamente o desenvolvimento urbano. A variável abandono escolar apresentou um efeito negativo significativo, o que reforça a importância de políticas educacionais que busquem reduzir as taxas de evasão e garantir a permanência dos alunos no sistema escolar. Da mesma forma, a distorção idade-série mostrou-se um fator importante no desenvolvimento das cidades inteligentes, com a redução dessa distorção associada a melhores desempenhos no ranking, refletindo um sistema educacional mais eficiente e com menos desigualdade.

Por outro lado, as hipóteses que envolviam variáveis como a adequação da formação docente, a regularidade do corpo docente, o número de alunos por turma e as horas-aula diárias, não apresentaram a mesma robustez. Embora algumas dessas variáveis tenham mostrado efeitos iniciais significativos, em modelos mais robustos sua influência sobre o desenvolvimento das cidades inteligentes foi atenuada ou perdeu significância estatística. Isso sugere que, embora aspectos como a qualificação e a estabilidade docente, bem como o tamanho das turmas e o tempo de aula, possam ter algum impacto, esses efeitos são mediados por outros fatores educacionais e urbanos não analisados.

Em suma, a análise permite concluir que a educação possui um papel central no desempenho das cidades inteligentes, funcionando como uma alavanca fundamental para a melhoria de seus indicadores. A partir dos resultados obtidos é possível inferir que as políticas públicas devem se concentrar na qualidade do ensino, mas também na redução da desigualdade educacional, na promoção da inclusão e no fortalecimento das competências dos cidadãos, para que as cidades possam alcançar um desenvolvimento urbano mais equitativo e sustentável.

5.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Diante dos objetivos estabelecidos para o estudo e dos resultados alcançados, destacam-se a seguir as principais contribuições da presente pesquisa.

5.1.1 Contribuições teóricas

Como principal contribuição teórica, destaca-se a construção de um robusto referencial teórico sobre cidades inteligentes e educação, que contribui para uma área ainda pouco explorada no campo de estudo de cidades inteligentes. Foram mapeados os principais conceitos relacionados às cidades e criada uma linha do tempo (Figura 1) que facilita o entendimento da evolução do campo de estudo, além de explicar a diferença e abrangência dos conceitos. Além disso, foram identificadas as sete dimensões urbanas que compõem as cidades inteligentes (Quadro 2), mostrando que essas dimensões interagem entre si para o progresso e para a inteligência do espaço urbano.

Destaca-se ainda o uso da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), de Ludwig von Bertalanffy (1975) como lente teórica para analisar as cidades inteligentes. Esta abordagem permitiu olhar as cidades como unidades complexas multidimensionais que interagem e produzem efeitos umas sobre as outras (Figura 3). Este olhar para as cidades por meio das TGS é ainda pouco explorado, tendo este trabalho contribuído para posicionar as cidades inteligentes sob a lente da TGS (Kirwan; Dobrev, 2022). Também foi criada uma definição para cidades inteligentes a partir da lente da TGS e das dimensões identificadas.

Além disso, as dimensões foram utilizadas para compor o modelo de dados em painel, método pouco explorado no campo de estudo devido sua complexidade e escassez de dados. Desta forma, este estudo contribuiu com a literatura ao gerar uma análise temporal e transversal das cidades mais inteligentes do país por meio do modelo econométrico de dados em painel.

5.1.2 Contribuições educacionais

Como contribuições educacionais, destaca-se a redefinição das prioridades educacionais. Ao apresentar a definição de qualidade educacional e seu impacto no desenvolvimento de cidades inteligentes, esta pesquisa destaca a necessidade de priorizar uma educação centrada em competências que promovam inovação, pensamento crítico e resolução de problemas, essenciais para a dinâmica das cidades inteligentes. Incentiva, ainda, a integração curricular com conteúdos relacionados à tecnologia, sustentabilidade e cidadania. Este estudo também demonstra a importância de adotar tecnologias no processo de ensino-aprendizagem, como plataformas digitais, ferramentas de aprendizado personalizado e uso de inteligência artificial.

Esta tese reforça a necessidade de parcerias entre instituições de ensino, sociedade, empresas, governos e ONGs para criar soluções locais baseadas em educação. Os achados podem contribuir com a criação de indicadores de qualidade educacional, a fim de desenvolver métricas que avaliem a qualidade educacional no contexto urbano, como o impacto no desenvolvimento local e no engajamento cívico, podendo guiar políticas públicas para melhorar as instituições de ensino em cidades inteligentes. Por fim, espera-se que os resultados deste estudo sejam fonte de inspiração para a criação de políticas públicas inovadoras que atendam as necessidades de todos os grupos da população e tornem as cidades mais inteligentes.

5.1.3 Implicações sociais

Quanto às implicações sociais, este estudo destaca a urgente necessidade de políticas públicas voltadas à qualidade educacional em território brasileiro. Além disso, coloca a educação como um dos principais elementos que integram as dimensões de cidades inteligentes. Ao apoiar o investimento em qualidade educacional, espera-se que as cidades se tornem mais inteligentes e que haja redução das desigualdades sociais, fortalecimento da coesão social, equidade digital e melhoria da qualidade de vida dos habitantes urbanos.

As principais contribuições sociais deste estudo estão relacionadas à compreensão do papel fundamental da educação no desenvolvimento das cidades inteligentes e seu impacto na qualidade de vida dos cidadãos. Ao analisar a relação entre a qualidade educacional e o progresso urbano, os resultados reforçam que investimentos em qualidade educacional têm o potencial de melhorar os indicadores educacionais e as condições socioeconômicas e de bem-estar das populações urbanas.

Ao destacar a relevância das notas do Enem, da taxa de aprovação e da redução do abandono escolar, este estudo contribui para a conscientização sobre a necessidade de políticas públicas que busquem garantir a permanência dos alunos no sistema escolar, reduzindo as desigualdades educacionais. Cidades com melhor desempenho educacional têm maior capacidade de formar cidadãos qualificados, preparados para o mercado de trabalho e para participar ativamente da vida pública, o que resulta em uma sociedade mais justa e equitativa. Ao identificar que a distorção idade-série afeta negativamente o desenvolvimento das cidades inteligentes, esta pesquisa aponta a importância de políticas de recuperação de defasagens escolares, que garantam que todos os estudantes tenham oportunidades iguais de concluir a educação básica. Isso pode contribuir para reduzir a exclusão social e a desigualdade de oportunidades, promovendo uma sociedade mais inclusiva.

Em termos práticos, os resultados deste estudo podem ser utilizados para orientar políticas públicas voltadas para a melhoria da educação e do desenvolvimento urbano. Ao promover a interconexão entre a qualidade educacional e o progresso das cidades, este trabalho destaca a importância de uma abordagem integrada, que considere a educação como um motor do desenvolvimento social e urbano, e não apenas como um aspecto isolado.

Por fim, a contribuição social deste estudo também se estende ao fortalecimento da consciência pública sobre a relação entre educação e a construção de cidades mais inteligentes. Ele chama a atenção para a necessidade de investir em políticas educacionais que, além de melhorar o desempenho acadêmico, busquem preparar os cidadãos para os desafios do futuro, promovendo cidades mais inclusivas, resilientes e prósperas.

5.1.4 Contribuições gerenciais

Como contribuições gerenciais destaca-se a relação direta deste estudo com a administração pública e com a gestão de cidades inteligentes. O gestor urbano, enquanto gestor de cidade inteligente, precisa ter conhecimento das dimensões urbanas e de suas interações. Neste sentido, este estudo oferece resultados significativos ao analisar as relações entre educação e o desenvolvimento de cidades inteligentes, evidenciando a importância do investimento em qualidade educacional. Os achados também mostram o comportamento de outras variáveis do modelo, como emissões de CO₂, vulnerabilidade, homicídio e latrocínio, e como influenciam o desenvolvimento das cidades.

Estes resultados podem auxiliar os gestores públicos e planejadores urbanos a repensarem o planejamento estratégico da cidade e as áreas que carecem de investimento. Ao apresentar o efeito das variáveis sobre o desenvolvimento da cidade e discutir o que torna uma cidade realmente inteligente, este estudo tem o potencial de influenciar tomadas de decisão e apoiar projetos de cidades inteligentes. Os gestores podem utilizar os resultados sobre o efeito de variáveis como segurança e meio ambiente para adotar políticas públicas integradas que favoreçam o equilíbrio entre as diferentes dimensões da cidade.

5.1.5 Contribuições metodológicas

Como contribuição metodológica, destaca-se o uso do modelo de dados em painel no contexto de cidades inteligentes e, especialmente, no contexto educacional. Haja visto se tratar de um método ainda pouco difundido nestas áreas. Assim, o modelo de dados em painel

permitiu uma análise temporal e transversal da relação entre a qualidade educacional e o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Outrossim, a incorporação de várias dimensões temporais e espaciais ajuda a minimizar problemas de colinearidade, tornando as estimações mais robustas. O uso do método de efeitos fixos e de inferências robustas também ajudam a mitigar problemas como heterocedasticidade e variáveis omitidas, contribuindo para identificar relações causais mais robustas entre as variáveis explicativas e a variável dependente. Isso foi crucial para melhorar a precisão das estimações e aumentar a confiabilidade dos resultados, uma vez que, ao lidar com dados longitudinais de diferentes municípios, há sempre o risco de não capturar adequadamente certas variações ou de distorcer as relações causais. A abordagem robusta permitiu identificar relações causais mais robustas entre as variáveis independentes e a variável dependente, contribuindo para a construção de modelos mais precisos e representativos da realidade das cidades brasileiras.

A metodologia aplicada neste estudo também se destaca pela capacidade de integrar variáveis de diferentes naturezas, como educacionais, sociais, econômicas e ambientais, criando um modelo holístico para a análise do desenvolvimento urbano inteligente. Isso representa um avanço significativo nas abordagens metodológicas utilizadas na pesquisa de cidades inteligentes, ao mesmo tempo em que abre caminhos para novos estudos que possam aplicar ou adaptar essas técnicas a diferentes contextos e regiões.

5.2 PRINCIPAIS LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este estudo apresenta limitações no que tange ao número de cidades e ao período analisado. A ausência de dados impediu que mais variáveis fossem incluídas no modelo. Estudos futuros mais amplos são necessários para cobrir esta lacuna, abrangendo uma amostra maior de cidades e uma análise longitudinal maior, de modo a captar tendências mais amplas e significativas. O modelo de dados em painel pode sofrer efeito de homogeneidade, ou seja, o modelo pode assumir que os efeitos de uma variável (como a qualidade educacional) são os mesmos para todas as cidades, o que pode não ser o caso. O impacto da educação no desenvolvimento de uma cidade pode variar dependendo de características locais, como a infraestrutura tecnológica, o grau de urbanização, a cultura local e a estrutura econômica. Essas características podem influenciar de forma significativa como a educação afeta o desenvolvimento urbano, sendo um ponto relevante para investigações futuras.

Além disso, esta pesquisa baseou-se em dados agregados a nível municipal, o que pode obscurecer nuances importantes relacionadas a desigualdades internas dentro de cada cidade, como diferenças entre bairros ou regiões periféricas. Ao tratar as cidades como unidades homogêneas, não é possível captar completamente as variações de acesso e qualidade educacional que podem existir dentro de um mesmo município.

Outra limitação desta pesquisa está associada à amostra utilizada, uma vez que não foi possível utilizar cidades aleatórias do país devido à disponibilidade de dados. Portanto, um dos critérios de seleção das cidades foi a inclusão no ranking Connected Smart Cities, que, apesar de ser um ranking amplamente reconhecido, representa um subconjunto das cidades brasileiras e não sua totalidade. Isso significa que os resultados podem não ser totalmente representativos para todas as cidades do Brasil, especialmente aquelas que não estão tão desenvolvidas ou que não possuem dados suficientemente detalhados. Dessa forma, os achados podem ser mais aplicáveis às cidades que já estão em estágios mais avançados de desenvolvimento urbano inteligente, mas podem não refletir com precisão os desafios enfrentados por cidades em contextos diferentes ou menos favorecidos.

Além disso, apesar do uso do modelo de dados em painel, que oferece uma análise robusta ao considerar tanto a dimensão temporal quanto espacial, a qualidade dos dados disponíveis pode ter influenciado os resultados. A ausência de dados mais granulares ou a limitação de indicadores específicos em algumas cidades podem ter afetado a precisão das estimativas. Alguns aspectos da qualidade educacional, como metodologias de ensino, infraestrutura escolar e práticas pedagógicas, não foram diretamente incluídos na análise, limitando a compreensão dos indicadores de qualidade educacional que podem impactar o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Essas limitações não comprometem a relevância dos resultados, mas apontam áreas de melhoria e possíveis caminhos para futuras pesquisas, como o aprofundamento na análise de novos dados, a incorporação de mais variáveis relacionadas ao desenvolvimento urbano e a utilização de métodos que possam explorar melhor a causalidade entre os fenômenos analisados.

5.3 SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

Com base nas limitações e nos resultados deste estudo, algumas sugestões para pesquisas futuras podem ser delineadas a fim de aprofundar o entendimento sobre a relação

entre educação e o desenvolvimento das cidades inteligentes, além de explorar novos aspectos que não foram abrangidos nesta pesquisa.

Como sugestões para pesquisas futuras, recomenda-se aumentar o período da amostra quando forem disponibilizados novos índices de cidades inteligentes ou quando for identificada uma nova fonte de dados. Incluir outras variáveis e utilizar outros modelos metodológicos podem evidenciar novos achados. Além disso, estudos podem abordar as variações nas políticas educacionais e no desenvolvimento urbano de cidades de diferentes tamanhos e com diferentes níveis de recursos. Outra possibilidade seria realizar uma análise longitudinal com mais dados, o que permitiria acompanhar a evolução das cidades inteligentes ao longo do tempo, assim como a evolução da qualidade educacional. Isso possibilitaria verificar se os efeitos da educação sobre o desenvolvimento urbano são sustentáveis ao longo do tempo ou se surgem mudanças em resposta a novas políticas públicas ou crises.

Estudos futuros podem investigar como diferentes componentes da qualidade educacional (infraestrutura escolar, qualificação docente, acesso à tecnologia) afetam os indicadores urbanos de inteligência e como a implementação de tecnologias educacionais, como ensino híbrido e inteligência artificial aplicada à educação, influenciam o desempenho das cidades no ranking.

Outra área que carece de atenção e de pesquisas em profundidade diz respeito ao impacto das políticas públicas voltadas para a educação e seus efeitos no desenvolvimento de cidades inteligentes. O mesmo pode ser investigado em relação às políticas de sustentabilidade (redução de emissões de CO₂, eficiência energética, mobilidade sustentável) e seus impactos no desenvolvimento de cidades inteligentes ao longo do tempo. Embora a variável de emissões de CO₂ tenha sido testada neste estudo e não tenha apresentado significância estatística, uma sugestão para pesquisas futuras seria aprofundar a análise das questões ambientais e de sustentabilidade, como o impacto de práticas ecológicas e de gestão ambiental no desenvolvimento de cidades inteligentes. Isso poderia incluir uma análise mais detalhada de como a educação e as políticas ambientais podem ser integradas para promover um desenvolvimento urbano sustentável. Além disso, devido ao Índice de Governança Municipal não ter apresentado significância, sugere-se que estudos futuros na área busquem compreender como diferentes modelos de governança contribuem para o avanço da inteligência urbana.

Estudos futuros podem adotar abordagens experimentais ou quasi-experimentais, como o uso de estudos de caso, experimentos naturais ou outros modelos econométricos, para investigar como as melhorias na educação influenciam diretamente o desenvolvimento das cidades inteligentes. Essas sugestões visam expandir o conhecimento sobre o papel da educação

no desenvolvimento de cidades inteligentes, adotando uma abordagem mais abrangente e multivariada, que considere as complexidades locais, temporais e contextuais que afetam tanto a qualidade educacional quanto o crescimento urbano sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABAY, Mert; AKGÜNGÖR, Sedef. Technological paths and smart specialization: analysis of regional entry and exit in Turkey. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 2024, vol. 8, no 1, p. 45-84.
- ABRHA, W., AHMED, R., GOULD, P., & MCCOLLUM, C.. Lean six sigma for mitigating high school dropouts. *Proceedings of the International Annual Conference of the American Society for Engineering Management*. 2022.
- ABU-RAYASH, Azzam; DINCER, Ibrahim. Development of an integrated model for environmentally and economically sustainable and smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2025, vol. 73, p. 104096.
- ABU-RAYASH, Azzam; DINCER, Ibrahim. Development of integrated sustainability performance indicators for better management of smart cities. *Sustainable Cities and Society*, v. 67, p. 102704, 2021.
- ABUTABENJEH, Sawsan; NUKPEZAH, Julius A.; AZHAR, Annus. Do smart cities technologies contribute to local economic development?. *Economic Development Quarterly*, v. 36, n. 1, p. 3-16, 2022.
- ADEL, Amr; ALANI, Noor HS. Human-Centric Collaboration and Industry 5.0 Framework in Smart Cities and Communities: Fostering Sustainable Development Goals 3, 4, 9, and 11 in Society 5.0. *Smart Cities*, v. 7, n. 4, p. 1723, 2024.
- ADENEKAN, Olubunmi Adeolu; EZEIGWENEME, Chinedu; CHUKWURAH, Excel Great. The evolution of smart cities: Integrating technology, governance, and sustainable development. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 2024, vol. 6, no 5, p. 891-902.
- AJITHA, D. et al. Healthcare infrastructure in future smart cities. In: *Intelligent Healthcare: Infrastructure, Algorithms and Management*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 321-341.
- AL SHARIF, Reem; POKHAREL, Shaligram. Smart city dimensions and associated risks: Review of literature. *Sustainable cities and society*, v. 77, p. 103542, 2022.
- ALBERTI, Marina et al. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *BioScience*, v. 53, n. 12, p. 1169-1179, 2003.
- ALBINO, Vito; BERARDI, Umberto; DANGELICO, Rosa Maria. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, v. 22, n. 1, p. 3-21, 2015.
- ALGHAMDI, Mansoor. Smart city urban planning using an evolutionary deep learning model. *Soft Computing*, 2024, vol. 28, no 1, p. 447-459.
- ALIZADEH, Hadi; SHARIFI, Ayyoob. Toward a societal smart city: Clarifying the social justice dimension of smart cities. *Sustainable Cities and Society*, v. 95, p. 104612, 2023.

ALLAM, Zaheer, et al. The metaverse as a virtual form of smart cities: Opportunities and challenges for environmental, economic, and social sustainability in urban futures. *Smart Cities*, 2022, vol. 5, no 3, p. 771-801.

ALMIHAT, Mohamed G. Moh et al. Energy and sustainable development in smart cities: An overview. *Smart Cities*, v. 5, n. 4, p. 1389-1408, 2022.

AMARAL, Vanessa Corrêa; MAIA, Joyce Kelly Martins; DOS SANTOS, Ariane Raphaele. Impactos Do Programa Bolsa Família (Pbf) Na Pobreza E Na Educação: Uma Revisão Integrativa. *REVISTA FOCO*, v. 17, n. 3, p. e4679-e4679, 2024.

AMPARÁN, Jesús Raúl Gutiérrez. City and Feminicide: The Case of Juarez City, Mexico. *Territorios*, n. 47, p. 1, 2022.

ANDERIES, John M.; JANSSEN, Marco A.; OSTROM, Elinor. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and society*, v. 9, n. 1, 2004.

ANDRADE, Cibele Yahn de. Acesso ao ensino superior no Brasil: equidade e desigualdade social. *Revista Ensino Superior Unicamp*, v. 6, p. 18-27, 2012.

ANTTILA, Juhani; JUSSILA, Kari. Universities and smart cities: the challenges to high quality. *Total Quality Management & Business Excellence*, v. 29, n. 9-10, p. 1058-1073, 2018.

APPIO, Francesco Paolo; LIMA, Marcos; PAROUTIS, Sotirios. Understanding Smart Cities: Innovation ecosystems, technological advancements, and societal challenges. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 142, p. 1-14, 2019.

ARAÚJO, Jevuks Matheus; FRIO, Gustavo Saraiva; ALVES, Pedro Jorge Holanda. O efeito do Bolsa Família sobre a distorção idade-série. *Estudos Econômicos (São Paulo)*, v. 51, n. 02, p. 343-371, 2021.

ATEŞ, Mücella; ERINSEL ÖNDER, Deniz. A local smart city approach in the context of smart environment and urban resilience. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 2023, vol. 14, no 3, p. 266-284.

AUGUSTO-EÇA, João Paulo; MAGALHÃES-TIMOTIO, João Guilherme; LEITE FILHO, Geraldo Alemandro. O desempenho esportivo e a eficiência na gestão determinam o desempenho financeiro dos clubes de futebol brasileiro? Uma análise com dados em painel. *Cuadernos de administración*, 2018, vol. 31, no 56, p. 137-161.

BAKICI, Tuba; ALMIRALL, Esteve; WAREHAM, Jonathan. A smart city initiative: the case of Barcelona. *Journal of the knowledge economy*, v. 4, p. 135-148, 2013.

BALDÉ, Ussumane et al. Infraestrutura Escolar Como Fator Motivacional No Ensino-Estudo-Aprendizagem—Uma pesquisa comparada Guiné-Bissau (Mansabá)/Brasil (Humaitá-Amazonas). *Revista Ensino de Ciências e Humanidades-Cidadania, Diversidade e Bem Estar-RECH*, v. 9, n. 1, p. 497-521, 2025.

BALTAGI, Badi Hani; BALTAGI, Badi H. *Econometric analysis of panel data*. Chichester: Wiley, 2008.

BARBIERI, Roberta; COLUCCIA, Benedetta; NATALE, Francesco. How are smart city policies progressing in Italy? Insights from SDG indicators. *Land Use Policy*, 2025, vol. 148, p. 107386.

BARRETTO, Elba Siqueira de Sá. Políticas de formação docente para a educação básica no Brasil: embates contemporâneos. *Revista Brasileira de Educação*, v. 20, n. 62, p. 679-701, 2015.

BARROS, Abílio Nogueira et al. Aplicação de Learning Analytics para identificação de tomada de decisão sobre a distorção idade-série no Brasil. In: *Workshop de Aplicações Práticas de Learning Analytics em Instituições de Ensino no Brasil (WAPLA)*. SBC, 2023. p. 21-31.

BASHIIR, Abdullahi Abdirahim. Smart Cities and IOT for Sustainable Urban Development. *Research Output Journal of Biological and Applied Science*, 2024, vol. 3, no 1, p. 23-27.

BATABYAL, Amitrajeet A.; NIJKAMP, Peter. Creative capital, information and communication technologies, and economic growth in smart cities. *Economics of Innovation and New Technology*, v. 28, n. 2, p. 142-155, 2019.

BATRANCEA, Larissa; RATHNASWAMY, Malar Kumaran; BATRANCEA, Ioan. A panel data analysis on determinants of economic growth in seven non-BCBS Countries. *Journal of the Knowledge Economy*, v. 13, n. 2, p. 1651-1665, 2022.

BATTY, Michael et al. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, v. 214, p. 481-518, 2012.

BEHDADFAR, Elham; SAMAEI, Seyed Reza. Towards a Smart Tehran: Leveraging Machine Learning for Sustainable Development, Balanced Growth, and Resilience. *Journal of New Researches in Smart City*, 2024, vol. 2, no 2, p. 53-67.

BELAÏD, Fateh; ARORA, Anvita. Smart cities: social and environmental challenges and opportunities for local authorities. 2024.

BELLINI, Pierfrancesco; NESI, Paolo; PANTALEO, Gianni. IoT-enabled smart cities: A review of concepts, frameworks and key technologies. *Applied Sciences*, v. 12, n. 3, p. 1607, 2022.

BENCKE, Luciana; CECHINEL, Cristian; MUNOZ, Roberto. Automated classification of social network messages into Smart Cities dimensions. *Future Generation Computer Systems*, 2020, vol. 109, p. 218-237.

BENEVOLO, Clara; DAMERI, Renata Paola; D'AURIA, Beatrice. Smart mobility in smart city: Action taxonomy, ICT intensity and public benefits. In: *Empowering organizations: Enabling platforms and artefacts*. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 13-28.

BETHÔNICO, Mariana; NETO, Ivan Rocha. Programa Nacional de Formação de Professores da Educação Básica: um estudo sobre suas contribuições à adequação da formação docente. *REVISTA ELETRÔNICA PESQUISEDUCA*, v. 16, n. 41, p. 60-76, 2024.

BEZERRA, Leonardo Ferreira et al. Análise da correlação entre a média de alunos por turma na taxa de rendimento de alunos nas escolas públicas de ensino médio no Município do Rio de Janeiro. *Educação Pública*, v. 20, n. 36, p. 22, 2020.

BHUSHAN, Bharat et al. Blockchain for smart cities: A review of architectures, integration trends and future research directions. *Sustainable Cities and Society*, v. 61, p. 102360, 2020.

BIBRI, Simon Elias, et al. The synergistic interplay of artificial intelligence and digital twin in environmentally planning sustainable smart cities: a comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 2024, p. 100433.

BITTAR, Olímpio J. Nogueira V. Hospitais e leitos públicos e privados no Brasil. *Revista de Administração em Saúde*, v. 24, n. 97, 2024.

BLANCK, Mery; RIBEIRO, José Luis Duarte. Smart cities financing system: An empirical modelling from the European context. *Cities*, 2021, vol. 116, p. 103268.

BLAZY, Julia; BLAZY, Rafał; DROBIEC, Łukasz. Glass fiber reinforced concrete as a durable and enhanced material for structural and architectural elements in smart city—a review. *Materials*, 2022, vol. 15, no 8, p. 2754.

BOLÍVAR, Manuel Pedro Rodríguez; MUÑOZ, Laura Alcaide (Ed.). E-participation in smart cities: Technologies and models of governance for citizen engagement. 2019.

BONITO, Justo Cuño et al. La Habana: Fundación, evolución y papel político en el proceso de las independencias americanas (1514-1825). *Americanía: Revista de Estudios Latinoamericanos*, n. 14, p. 63-91, 2021.

BRASIL. Cadastro Único, conhecer para incluir. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/acoes-e-programas/cadastro-unico>. Acesso em 29 jan 2025.

BRASIL. Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: Presidência da República, 23 dez. 1996.

BRASIL. Senado Federal. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988.

BRASIL. Lei n. 13.005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm. Acesso em 04 jan 2025.

BROCCARDO, Laura; CULASSO, Francesca; MAURO, Sara Giovanna. Smart city governance: exploring the institutional work of multiple actors towards collaboration. *International Journal of Public Sector Management*, 2019, vol. 32, no 4, p. 367-387.

CADMAN, D. Resourceful cities: Towards an ecology of finance. *Town Country Plan*, 52, 218–220, 1983.

CALZADA, Igor. The right to have digital rights in smart cities. *Sustainability*, v. 13, n. 20, p. 11438, 2021.

CAMARGO, Francisco; MONTENEGRO-MARÍN, Carlos Enrique; GONZÁLEZ-CRESPO, Rubén. Towards a new model of smart cities in emerging countries. *Academy of Strategic Management Journal*, v. 20, p. 1-20, 2021.

CAMBOIM, Guilherme Freitas; ZAWISLAK, Paulo Antônio; PUFAL, Nathália Amarante. Driving elements to make cities smarter: Evidences from European projects. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 142, p. 154-167, 2019.

CAMPBELL, Scott. Green cities, growing cities, just cities. *Journal of the American Planning Association*, v. 62, p. 3, 1996.

CAPPELARRI, Deise Maria et al. UM OLHAR SOBRE O IDEB: relação com investimento na educação, número de alunos matriculados, média de horas aula e PIB per capita. *Revista Gestão & Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 144-161, 23 ago. 2023.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C.; NIJKAMP, P. Smart cities in Europe (pp. 185-207). 2013.

CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara F. Smart cities and urban inequality. *Regional Studies*, v. 56, n. 7, p. 1097-1112, 2022.

CARRILLO, Francisco Javier. What ‘knowledge-based’ stands for? A position paper. *International Journal of Knowledge-Based Development*, v. 5, n. 4, p. 402-421, 2014.

CASASSUS, Juan. La escuela y la (des)igualdad. Santiago, CH: LOM Ediciones, 2003.

CAVALCANTE, Everton et al. Thinking smart cities as systems-of-systems: A perspective study. In: *Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart*. 2016. p. 1-4.

CAVALCANTI, Ana Carolina Damasceno; WAKIM, Vasconcelos Reis; DE MAGALHÃES, Elizete Aparecida. NÚMERO DE LEITOS HOSPITALARES: Uma Análise Da Dependência Espacial Em Minas Gerais. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 55, n. 4, p. 179-195, 2024.

CEPERO, Teresa; MONTANÉ-JIMÉNEZ, Luis G.; MAESTRE-GÓNGORA, Gina Paola. A framework for designing user-centered data visualizations in smart city technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 2025, vol. 210, p. 123855.

CERTEAU, Michel de. A invenção do cotidiano. 11ª ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

CFA – Conselho Federal de Administração. Índice CFA de Governança Municipal. 2025. Disponível em: <https://igm.cfa.org.br/>. Acesso em 27 jan 2025.

CHANG, Daniel Lage et al. Knowledge-based, smart and sustainable cities: A provocation for a conceptual framework. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2018.

CHARALABIDIS, Yannis et al. Convergence and Divergence Between Municipalities and Citizens about Smart City Actions' Priorities. In: the 21st Annual International Conference on Digital Government Research. 2020. p. 97-108.

CHARITONIDOU, Marianna. Smart cities as spaces of flows and the digital turn in architecture and urban planning: Big data vis-à-vis environmental and social equity. En *Smart Spaces*. Academic Press, 2024. p. 391-413.

CHATTI, Walid; KHAN, Zeeshan. Towards smart sustainable cities: Does technological innovation mitigate G7 CO2 emissions? Fresh evidence from CS-ARDL. *Science of the Total Environment*, v. 913, p. 169723, 2024.

CHEN, Hailin; DENG, Kun; SCHNEIDER, Friedrich. Does city smartness improve equality? Research on the impact of smart city construction on income inequality. *Pacific Economic Review*, v. 29, n. 3, p. 328-353, 2024.

CHEN, Liping. Coordinated Development of Smart City and Regional Industrial Economy under the Background of Internet of Things. *Mobile Information Systems*, v. 2022, n. 1, p. 6986090, 2022.

CHEUNG, Chi-wai. Regional innovation strategies and information society: a review of government initiatives in Japan. *Asian Geographer*, v. 10, n. 1, p. 39-61, 1991.

CHIESURA, A. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban planning*, 2004.

CHIMBI, Godsend T.; JITA, Loyiso C. Resurgence of Large Class Sizes and Pedagogical Reform in 21st Century Secondary School History Classrooms. *Research in Social Sciences and Technology*, v. 6, n. 3, p. 45-63, 2021.

CHONG, Miyoung et al. Dynamic capabilities of a smart city: An innovative approach to discovering urban problems and solutions. *Government Information Quarterly*, v. 35, n. 4, p. 682-692, 2018.

CHOURABI, Hafedh et al. Understanding smart cities: An integrative framework. In: 2012 45th Hawaii international conference on system sciences. IEEE, 2012. p. 2289-2297.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. Infraestrutura das vias tem relação com a segurança no trânsito. 2021. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/infraestrutura-das-vias-tem-relacao-com-a-seguranca-no-transito>

COLDING, Johan; NILSSON, Caroline; SJÖBERG, Stefan. Smart Cities for All? Bridging Digital Divides for Socially Sustainable and Inclusive Cities. *Smart Cities*, 2024, vol. 7, no 3, p. 1044-1059.

COOPER, C.; CUNNINGHAM, N.; BRACKEN, L. J. Exploring different framings of nature-based solutions with respect to governance, and citizen participation, beneficiaries, and quality of life outcomes. *Environmental Science & Policy*, v. 150, p. 103592, 2023.

CORTESE, Tatiana Tucunduva Philippi et al. Understanding sustainable energy in the context of smart cities: a PRISMA review. *Energies*, v. 15, n. 7, p. 2382, 2022.

COSTA, Ana Paula Brandão; GUERRA, Maximiliano Ribeiro; LEITE, Isabel Cristina Gonçalves. Avaliação dos atributos da atenção primária à saúde sob a ótica dos profissionais médicos. *Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade*, v. 17, n. 44, p. 3085-3085, 2022.

COSTA, Danielle Conte Alves Riani et al. Oferta pública e privada de leitos e acesso aos cuidados à saúde na pandemia de Covid-19 no Brasil. *Saúde em debate*, v. 44, p. 232-247, 2021.

CRAHAY, Marcel. Qual pedagogia para aos alunos em dificuldade escolar?. *Cadernos de Pesquisa*, v. 37, p. 181-208, 2007.

CRUZ, Emerson et al. The impact of teenage pregnancy on school dropout in Brazil: a Bayesian network approach. *BMC Public Health*, v. 21, p. 1-8, 2021.

CUNHA, Rodrigo Rafael. Rankings e indicadores para smart cities: uma proposta de cidades inteligentes autopoieticas. 2019. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

DA ROSA, Luiz Felipe de Moura; DE MARTINI MORAES, Kaluti Rossi. A adequação de formação docente dos professores de Física do Sul do Brasil. In: *Actas electrónicas del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias 2021. Aportaciones de la educación científica para un mundo sostenible*. Universidad de Valencia= Universitat de València, 2021. p. 967-970.

DAI, Yuxi; HASANEFENDIC, Sandra; BOSSINK, Bart. A systematic literature review of the smart city transformation process: The role and interaction of stakeholders and technology. *Sustainable Cities and Society*, 2024, vol. 101, p. 105112.

DAMAR, Esra. The Role of STEM Education in the Growth and Sustainability of Smart Cities. In *Engineering and Technology Management in Challenging Times*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 287-314.

DAMERI, Renata Paola; NEGRE, Elsa; ROSENTHAL-SABROUX, Camille. Triple Helix in Smart cities: a literature review about the vision of public bodies, universities, and private companies. In: *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. IEEE, 2016. p. 2974-2982.

DANESHVAR, FATEMEH et al. Determining the Convergences and Divergences among Smart City Beneficiaries (Case Study: Isfahan City). *Geography and Urban Space Development*, v. 9, n. 4, p. 55-73, 2023.

DAVID, Nina; MCNUTT, John. Building a workforce for smart city governance: Challenges and opportunities for the planning and administrative professions. In: Informatics. MDPI, 2019. p. 47.

DAVIDSON, Caroline. Speaking Femicide. *Am. UL Rev.*, v. 71, p. 377, 2021.

DE JONG, Martin et al. Sustainable–smart–resilient–low carbon–eco–knowledge cities; making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. *Journal of Cleaner production*, v. 109, p. 25-38, 2015.

DE MARCO, Alberto, et al. Digital dashboards for smart city governance: a case project to develop an urban safety indicator model. *Journal of Computer and Communications*, 2015, vol. 3, no 05, p. 144.

DE MEDEIROS, Ariane Dantas; NETO, Luiz Sodré. O Enem Como Ferramenta (Re) Formuladora Do Currículo Escolar E Da Prática Docente. *Revista Eletrônica Debates em Educação Científica e Tecnológica*, v. 8, n. 02, 2018.

DE MELLO, Alberto et al. Considerações sobre a importância da turma no desempenho dos alunos em escolas municipais. REICE. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, v. 5, n. 2, p. 1-8, 2007.

DE SOUSA, Mayara Guimarães et al. Uma análise da eficiência dos gastos públicos com educação nos municípios do Estado do Amazonas no período de 2013 a 2017. *Revista Ambiente Contábil-Universidade Federal do Rio Grande do Norte-ISSN 2176-9036*, v. 13, n. 1, p. 222-243, 2021.

DE SOUZA, Adeilson Elias et al. Determinantes do desempenho no ENEM na região Nordeste: uma análise de dados em painel do período de 2015 a 2019. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 15, n. 4, p. 690-711, 2021.

DE SOUZA, Daiane Gonçalves; PARENTE, Cláudia da Mota Darós. JORNADA ESCOLAR BRASILEIRA. *InterMeio: Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação-UFMS*, v. 29, n. 57, p. 53-72, 2023.

DE SOUZA, Stephanye Almeida; FIGUEIREDO, Adriano Marcos Rodrigues. Crescimento Econômico E Gastos Públicos: Brasil E Países Da OCDE-2005-2015. *DESENVOLVIMENTO, FRONTEIRAS E CIDADANIA*, v. 5, n. 8, p. 73-93, 2021.

DEL CERRO VELAZQUEZ, Francisco; LOZANO RIVAS, Fernando. Education for sustainable development in STEM (technical drawing): Learning approach and method for SDG 11 in classrooms. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 7, p. 2706.

DESDEMOUSTIER, Jonathan, et al. Smart City appropriation by local actors: An instrument in the making. *Cities*, 2019, vol. 92, p. 175-186.

DESROCHES, Reginald; TAYLOR, J. J. T. B. The promise of smart and resilient cities. *The Bridge*, v. 48, n. 2, 2018.

DHENGGE, V.; NIMBARTE, G. Governance, ease of living, and citizens' perception: Components for quality-of-life assessment in mid-sized smart cities. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 2024, vol. 9, no 2.

DIAZ-SARACHAGA, Jose Manuel. Developing an assessment governance framework for urban digital twins: Insights from smart cities. *Cities*, v. 156, p. 105558, 2025.

DIMITROVA, Vihra; NIKOLOV, Nikolay; GOSPODINOV, Todor. Education in the era of smart cities: transformation and opportunities. In: *ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2024. p. 352-357.

DO NASCIMENTO, Rafaella LS; FAGUNDES, Roberta A. de A.; DE SOUZA, Renata MCR. Statistical learning for predicting school dropout in elementary education: A comparative study. *Annals of Data Science*, v. 9, n. 4, p. 801-828, 2022.

DONG, Xiaojun, et al. Temporal and spatial differences in the resilience of smart cities and their influencing factors: Evidence from non-provincial cities in China. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 4, p. 1321.

DOS SANTOS, Antonio Nacílio Sousa, et al. "Semear diversidade na educação": a pedagogia de Paulo Freire como ponte da interculturalidade na educação infantil latino-americano. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 2024, vol. 22, no 8, p. e6454-e6454.

DUARTE, Eduardo Dias. História da Educação de Jovens e Adultos (Eja) no Brasil: Panorama Histórico, Político e Social. *Revista Veritas de Difusão Científica*, 2024, vol. 5, no 2, p. 237-259.

EGGER, P. An Econometric View on the Estimation of Gravity Models and the Calculation of Trade Potentials. *The World Economy*, v. 25, Issue 2, 2002

ENGEL, Jerome S.; BERBEGAL-MIRABENT, Jasmina; PIQUÉ, Josep M. The renaissance of the city as a cluster of innovation. *Cogent Business & Management*, v. 5, n. 1, p. 1532777, 2018.

EPENDI, Usman; ROCHIM, Adian Fatchur; WIBOWO, Adi. An assessment model for sustainable cities using crowdsourced data based on general system theory: a design science methodology approach. *Smart Cities*, v. 6, n. 6, p. 3032-3059, 2023.

ESSOMBA, Miquel Àngel et al. Education for sustainable development in educating Cities: towards a transformative approach from informal and non-formal education. *Sustainability*, v. 14, n. 7, p. 4005, 2022.

ESTEVEZ, Elsa; PARDO, Theresa A.; SCHOLL, Hans Jochen (Ed.). *Smart cities and smart governance: towards the 22nd century sustainable city*. Springer Nature, 2021.

FÁVERO, LP BELFIORE. Patrícia; TAKAMATSU, Renata Turola; SUZART, Janilson. *Métodos quantitativos com STATA*. 2014.

FELTRAN, Gabriel et al. Variações nas taxas de homicídios no Brasil: Uma explicação centrada nos conflitos faccionais. *Dilemas: Revista de Estudos de Conflito e Controle Social*, v. 15, p. 311-348, 2022.

FERNANDES, Taynara Roberta; PASSADOR, Claudia Souza. Contexto socioeconômico e infraestrutura escolar no desempenho acadêmico: revisão sistemática da literatura. *Regae: Revista de Gestão e Avaliação Educacional*, v. 12, n. 21, 2023.

FERREIRA, Andreza, et al. Internet of Things for Smart Education: A Systematic Literature Review. En 2024 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). IEEE, 2024. p. 179-181.

FERREIRA, Sergio Guimarães; RIBEIRO, Giovanna; TAFNER, Paulo. Abandono e evasão escolar no Brasil. *Instituto Mobilidade e Desenvolvimento Social*, p. 1-40, 2022.

FILIOU, Despoina; KESIDOU, Effie; WU, Lichao. Are smart cities green? The role of environmental and digital policies for Eco-innovation in China. *World Development*, v. 165, p. 106212, 2023.

FIRMANSYAH, Hendra Sandhi et al. Identifying the components and interrelationships of smart cities in Indonesia: Supporting policymaking via fuzzy cognitive systems. *IEEE Access*, v. 7, p. 46136-46151, 2019.

FLACH, Leonardo et al. Gestão pública de Smart Cities brasileiras e seus efeitos na educação local. *Education Policy Analysis Archives*, v. 30, p. (24)-(24), 2022.

FRAIBERG, Steven. Unsettling start-up ecosystems: Geographies, mobilities, and transnational literacies in the Palestinian start-up ecosystem. *Journal of Business and Technical Communication*, v. 35, n. 2, p. 219-253, 2021.

FRANZ, Peter. Foreword: Competing: Important Stimuli for Knowledge Cities to Become Prosperous. *Financial Times*, 2024.

FREIRE, Paulo. *Pedagogy of freedom: Ethics, democracy, and civic courage*. Rowman & Littlefield, 1998.

GAO, Jiazhan, et al. Towards a Green Digital City: Digital Economy, Digital Innovation, and Urban Haze Pollution. *Journal of Urban Technology*, 2024, p. 1-33.

GARCIA, Ricardo Alexandrino; RIOS-NETO, Eduardo Luiz Gonçalves; MIRANDA-RIBEIRO, Adriana de. Efeitos rendimento escolar, infraestrutura e prática docente na qualidade do ensino médio no Brasil. *Revista brasileira de Estudos de População*, v. 38, p. e0152, 2021.

GASCÓ-HERNANDEZ, Mila. Building a smart city: Lessons from Barcelona. *Communications of the ACM*, v. 61, n. 4, p. 50-57, 2018.

GE, Xinkai. Some applications of big data mining technology on education system in big data era. En *Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City: BDCPS 2019*, 28-29 December 2019, Shenyang, China. Springer Singapore, 2020. p. 368-374.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. Métodos de pesquisa. Plageder, 2009.

GHAZINOORY, Sepehr, et al. Smart city maturity models: A multidimensional synthesized approach. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2024, vol. 14, no 1, p. e1516.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GIL-GARCIA, J. Ramon; PARDO, Theresa A.; NAM, Taewoo. What makes a city smart? Identifying core components and proposing an integrative and comprehensive conceptualization. *Information Polity*, v. 20, n. 1, p. 61-87, 2015.

GKONTZIS, Andreas F., et al. Enhancing urban resilience: smart city data analyses, forecasts, and digital twin techniques at the neighborhood level. *Future Internet*, 2024, vol. 16, no 2, p. 47.

GLEWWE, Paul; KASSOUF, Ana Lúcia. O impacto do Programa Bolsa Família no total de matrículas do ensino fundamental, taxas de abandono e aprovação. *Anais do Encontro Nacional de Economia*, v. 36, p. 1-20, 2008.

GODSCHALK, David R. Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural hazards review*, v. 4, n. 3, p. 136-143, 2003.

GOLUBCHIKOV, Oleg; THORNBUSH, Mary J. Smart cities as hybrid spaces of governance: Beyond the hard/soft dichotomy in cyber-urbanization. *Sustainability*, v. 14, n. 16, p. 10080, 2022.

GOMEZ-NOVY, Juan; POLYZOIDES, Stefanos. A tale of two cities: the failed urban renewal of downtown Tucson in the twentieth century. *Journal of the Southwest*, 2003, p. 87-119.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara et al. Environmental profile of the municipality of Madrid through the methodologies of Urban Metabolism and Life Cycle Analysis. *Sustainable Cities and Society*, v. 64, p. 102546, 2021.

GOUMIRI, Soumia; YAHIAOUI, Saïd; DJAHEL, Soufiene. Smart Mobility in Smart Cities: Emerging challenges, recent advances and future directions. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, p. 1-37, 2023.

GRAUPNER, Thaisa Caroline; HEIN, Adriana Kroenke; HEIN, Nelson. Relação entre os gastos públicos e eficiência educacional de municípios catarinenses. *Revista Catarinense da Ciência Contábil*, v. 23, p. e3485-e3485, 2024.

GROSSI, Giuseppe; WELINDER, Olga. Smart cities at the intersection of public governance paradigms for sustainability. *Urban Studies*, 2024, p. 00420980241227807.

GSTREIN, Oskar J. Data autonomy: beyond personal data abuse, sphere transgression, and datafied gentrification in smart cities. *Ethics and Information Technology*, v. 26, n. 3, p. 61, 2024.

GUEDES, Sandro Bouth; DE CARVALHO, Rogério Atem; DA HORA, Henrique Rego Monteiro. Patent prospection in wind power generation technologies for use in urban areas. *International Journal of Innovation: IJI Journal*, v. 10, n. 3, p. 555-573, 2022.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria Básica*. Amgh Editora [em linha]. 2011.

GUO, Chong, et al. Does smart city policy improve corporate green technology innovation? Evidence from Chinese listed companies. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2024, vol. 67, no 6, p. 1182-1211.

GUO, Qingbin; WANG, Yong; DONG, Xiaobin. Effects of smart city construction on energy saving and CO2 emission reduction: Evidence from China. *Applied Energy*, v. 313, p. 118879, 2022.

GUO, Xiaoxu; ZHANG, Rao; ZHANG, Yue. Do companies influenced by smart cities pay more attention to green governance? Mechanism and optimal spatial correlation. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, v. 22, n. 1, p. 48-57, 2024.

HAMMOUMI, Laaziza; MAANAN, Mehdi; RHINANE, Hassan. Characterizing Smart Cities Based on Artificial Intelligence. *Smart Cities*, 2024, vol. 7, no 3, p. 1330-1345.

HAN, Junghee. Open innovation in a smart city context: the case of Sejong smart city initiative. *European Journal of Innovation Management*, 2024.

HANUSHEK, Eric. O futuro do Brasil depende de bons professores e alunos competitivos. *Revista Desafios do Desenvolvimento, Brasília/DF*, v. 10, n. 77, 2013.

HARTLEY, Kris; ALDAG, Austin. Public trust and support for government technology: Survey insights about Singapore's smart city policies. *Cities*, 2024, vol. 154, p. 105368.

HASHMI, Shujahat Haider et al. Non-linear relationship between urbanization paths and CO2 emissions: A case of South, South-East and East Asian economies. *Urban Climate*, v. 37, p. 100814, 2021.

HERATH, HMKKMB; MITTAL, Mamta. Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review. *International Journal of Information Management Data Insights*, v. 2, n. 1, p. 100076, 2022.

HERINGER, Rosana. Affirmative action policies in higher education in Brazil: outcomes and future challenges. *Social Sciences*, 2024, vol. 13, no 3, p. 132.

HIMDI, Tarik. Higher Education Model in Smart Cities: A case study in computer school. In: 2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC). IEEE, 2023. p. 1-5.

HOJDA, Alexandre; DALLABONA FARINIUK, Tharsila Maynardes; SIMÃO, Marcela de Moraes Batista. Building a smart city with trust: the case of '156 central' of Curitiba-Brazil. *Economía, sociedad y territorio*, v. 19, n. 60, p. 79-108, 2019.

HOLLANDS, Robert G. Will the real smart city please stand up?: Intelligent, progressive or entrepreneurial?. In: *The Routledge companion to smart cities*. Routledge, 2020. p. 179-199.

HOXHA, Visar; PALLASKA, Elvida. A study of components predicting smart governance in Prishtina, Kosovo. *Urbani Izziv*, 2023, vol. 34, no 2, p. 63-72.

HSU, Lin-Fang. State's role in shaping the smart city industry development. *International Journal of Urban Sciences*, 2024, p. 1-29.

HUANG-LACHMANN, Jo-Ting. Systematic review of smart cities and climate change adaptation. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, v. 10, n. 4, p. 745-772, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022 Census: 87% of the Brazilian population lives in urban areas. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/en/agencia-news/2184-news-agency/news/41910-2022-census-87-of-the-brazilian-population-lives-in-urban-areas#:~:text=In%202022%2C%20177.5%20million%20people,million%20lived%20in%20rural%20areas>. Acesso em 27 jan 2025.

IFEDIORA, Anthony Oritsegbemi. Nigeria's Urban Realities In Contemporary History; How Far From Smart Cities?. OGBEMI: 4TH COEWA INAUGURAL LECTURE. 2021.

IHLANFELDT, Keith R. The importance of the central city to the regional and national economy: a review of the arguments and empirical evidence. *Cityscape*, p. 125-150, 1995.

INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Enem. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/microdados/enem>. Acesso em 10 dez 2024

INEP - INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA – INEP. Panorama da educação: destaques do Education at a Glance 2019. Brasília, DF, 2020.

INEP/MEC. Indicadores de Qualidade na Educação. Ação Educativa, Unicef, PNUD, Inep-MEC (coordenadores). – São Paulo : Ação Educativa, 2004. ISBN 85-86382-03-5. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/Consescol/ce_indqua.pdf. Acesso 22 jan 2025.

INEP/MEC. Problemática da qualidade em pesquisa de custo-aluno-ano em escolas de educação básica. Pesquisa nacional qualidade na educação – Brasília : Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2006. 2 v. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/diversas/financiamento_da_educacao/pesquisa_nacional_qualidade_na_educacao_vol_2.pdf. Acesso em 22 jan 2025.

ISHKINEEVA, Guzel; ISHKINEEVA, Farida; AKHMETOVA, Simbul. Major approaches towards understanding smart cities concept. *Asian Social Science*, v. 11, n. 5, p. 70, 2015.

ISO 37122:2019. ISO. Sustainable cities and communities — Indicators for smart cities. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69050.html>. Acesso em 05 fev 2025.

JANIK, Agnieszka; RYSZKO, Adam; SZAFRANIEC, Marek. Scientific landscape of smart and sustainable cities literature: A bibliometric analysis. *Sustainability*, v. 12, n. 3, p. 779, 2020.

JASKIEWICZ, Tomasz et al. Hacking the hackathon format to empower citizens in outsmarting "smart" cities. *IxD&A*, v. 43, p. 8-29, 2019.

JENKINS, Andrew et al. Estimating the relationship between school resources and pupil attainment at Key Stage 3. Department for Education and Skills/Institute of Education, University of London, 2005.

JOHNSON, Roger Kirk H. The "Green City" Concept Applied to the Auckland Isthmus. Canberra College of Advanced Education, 1980.

JOHNSON, Roger. The 'Green City' Concept: proposals for Auckland NZ. *Town Planning Review*, v. 55, n. 3, p. 290, 1984.

JONEK-KOWALSKA, Izabela. Health care in cities perceived as smart in the context of population aging—A record from Poland. *Smart Cities*, v. 5, n. 4, p. 1267-1292, 2022.

JONES, Kevin A.; SHARMA, Ravi S. Democratization and Transformation of Higher Education in the Era of Smart Cities. In: *The Emerald Handbook of Smart Cities in the Gulf Region: Innovation, Development, Transformation, and Prosperity for Vision 2040*. Emerald Publishing Limited, 2024. p. 69-97.

JUCEVIČIUS, Robertas et al. Assessing the regional innovation system's absorptive capacity: The approach of a smart region in a small country. *Systems*, v. 5, n. 2, p. 27, 2017.

KALLEYA, Calista et al. Smart City Applications: A Patent Landscape Exploration. *Procedia Computer Science*, v. 227, p. 981-989, 2023.

KAMRUZZAMAN, M. M. et al. Blockchain and fog computing in IoT-driven healthcare services for smart cities. *Journal of Healthcare Engineering*, v. 2022, n. 1, p. 9957888, 2022.

KARTHIKEYAN, C. Integrating AI for Resilient Smart Cities in India: Leveraging Technology for Sustainable and Equitable Urban Futures. In *Nexus of AI, Climatology, and Urbanism for Smart Cities*. IGI Global Scientific Publishing, 2025. p. 183-216.

KASCH, Julia, et al. Distance and presence in interdisciplinary online learning. A challenge-based learning course on sustainable cities of the future. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2023, vol. 20, no 1, p. 2185261.

KASZNAR, Ana Paula P. et al. Multiple dimensions of smart cities' infrastructure: A review. *Buildings*, v. 11, n. 2, p. 73, 2021.

KATZ, B.; WAGNER, Julie. The rise of urban innovation districts. *Harv. Bus. Rev*, 2014.

KAWTHALKAR, Ira et al. A survey of predictive crime mapping techniques for smart cities. In: 2020 National Conference on Emerging Trends on Sustainable Technology and Engineering Applications (NCETSTE). IEEE, 2020. p. 1-6.

KENNEDY, Christopher; CUDDIHY, John; ENGEL-YAN, Joshua. The changing metabolism of cities. *Journal of industrial ecology*, v. 11, n. 2, p. 43-59, 2007.

KESHAVARZI, Golnaz; YILDIRIM, Yalcin; AREFI, Mahyar. Does scale matter? An overview of the “smart cities” literature. *Sustainable Cities and Society*, v. 74, p. 103151, 2021.

KHALIFEH, Ala’ et al. Wireless sensor networks for smart cities: Network design, implementation and performance evaluation. *Electronics*, v. 10, n. 2, p. 218, 2021.

KHAN, Mustaqeem, et al. An efficient violence detection approach for smart cities surveillance system. En 2023 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). IEEE, 2023. p. 1-5.

KHEMAKHEM, Siwar; KRICHEN, Lotfi. A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities. *Franklin Open*, 2024, p. 100142.

KIM, Nammi; YANG, Seungwoo. Conceptually Related Smart Cities Services from the Perspectives of Governance and Sociotechnical Systems in Europe. *Systems*, 2023, vol. 11, no 4, p. 166.

KIRWAN, Christopher G.; DOBREV, Stefan V. Cities as convergent autopoietic systems. *Artificial Intelligence, Machine Learning, and Optimization Tools for Smart Cities: Designing for Sustainability*, p. 1-26, 2022.

KLETT, Fanny; WANG, Minhong. Smart cities of the future: Creating tomorrow’s education toward effective skills and career development today. *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, 2014.

KNIGHT, Richard V. Knowledge-based development: policy and planning implications for cities. *Urban studies*, v. 32, n. 2, p. 225-260, 1995.

KOHLI, Priyanka; SINGH, Kawaljeet. Analysis of woman safety parameters in smart and non-smart cities. In: 2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO). IEEE, 2021. p. 1-5.

KOLOTOUCHKINA, Olga; BARROSO, Carmen Llorente; SÁNCHEZ, Juan Luis Manfredi. Smart cities, the digital divide, and people with disabilities. *Cities*, v. 123, p. 103613, 2022.

KOMNINOS, Nicos et al. Towards high impact smart cities: A universal architecture based on connected intelligence spaces. *Journal of the Knowledge Economy*, v. 13, n. 2, p. 1169-1197, 2022.

KUMAR, T. V.; DAHIYA, Bharat. Smart economy in smart cities. *Smart economy in smart cities*, 2017, p. 3-76.

KUMMITHA, Rama Krishna Reddy. Smart cities and entrepreneurship: An agenda for future research. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 149, p. 119763, 2019.

KUMMITHA, Rama Krishna Reddy. Smart city governance: assessing modes of active citizen engagement. *Regional Studies*, p. 1-15, 2024.

KUMMITHA, Rama Krishna Reddy. Why distance matters: The relatedness between technology development and its appropriation in smart cities. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 157, p. 120087, 2020.

KUZIOR, Aleksandra et al. Resilience of Smart Cities to the Consequences of the COVID-19 Pandemic in the Context of Sustainable Development. *Sustainability*, v. 14, n. 19, p. 12645, 2022.

LAI, Chun Sing et al. A review of technical standards for smart cities. *Clean Technologies*, v. 2, n. 3, p. 290-310, 2020.

LDB. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. LEI Nº 13.415, DE 16 DE FEVEREIRO DE 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113415.htm. Acesso em 11 jan 2025.

LEE, Danbee; KANG, Minsung Michael; KIM, Hannah June. The human dimension of smart cities: Examining antecedents of citizens' smart city policy literacy. *International Review of Administrative Sciences*, 2024, p. 00208523241267869.

LENCIONI, Sandra. Região e geografia. São Paulo: Edusp, 1999.

LEPCZYK, Christopher A. et al. Biodiversity in the city: fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation. *BioScience*, v. 67, n. 9, p. 799-807, 2017.

LEYDESDORFF, Loet; DEAKIN, Mark. The triple-helix model of smart cities: A neo-evolutionary perspective. *Journal of urban technology*, v. 18, n. 2, p. 53-63, 2011.

LI, Yingcheng; RIGBY, David. Relatedness, complexity, and economic growth in Chinese cities. *International Regional Science Review*, 2023, vol. 46, no 1, p. 3-37.

LIM, Seng Boon; YIGITCANLAR, Tan. Participatory governance of smart cities: Insights from e-participation of Putrajaya and Petaling Jaya, Malaysia. *Smart Cities*, v. 5, n. 1, p. 71-89, 2022.

LINDE, Lina et al. Dynamic capabilities for ecosystem orchestration A capability-based framework for smart city innovation initiatives. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 166, p. 120614, 2021.

LIPMAN, Andrew D.; SUGARMAN, Alan D.; CUSHMAN, Robert Frank (Ed.). *Teleports and the intelligent city*. Homewood, IL: Dow Jones-Irwin, 1986.

LIU, Yuyang et al. Can smart city policies foster digital innovation in the construction industry? Evidence from BIM-related patents in China. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2024.

LOM, Michal; PRIBYL, Ondrej. Smart city model based on systems theory. *International Journal of Information Management*, v. 56, p. 102092, 2021.

LOMBARDI, Patrizia et al. Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, v. 25, n. 2, p. 137-149, 2012.

LÖNNQVIST, Antti et al. Knowledge that matters: Identifying regional knowledge assets of the Tampere region. *European Planning Studies*, v. 22, n. 10, p. 2011-2029, 2014.

LÓPEZ-BALDOMINOS, Inés et al. Modeling and Analyzing the Availability of Technical Professional Profiles for the Success of Smart Cities Projects in Europe. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 24, n. 18, p. 6089, 2024.

LUHMANN, N.. Why systems theory. *Cybernetics & Human Knowing*, 3(2), 3-10, 1995.
MA, Zhongxin; WU, Fenglan. Smart city, digitalization and CO2 emissions: evidence from 353 cities in China. *Sustainability*, v. 15, n. 1, p. 225, 2022.

MACIEL, Ana Beatrice de Simone et al. Comparative Analysis of Brazilian Smart Cities. *Pymes, Innovación y Desarrollo*, v. 12, n. 2, p. 24-45, 2024.

MACKE, Janaina et al. Smart city and quality of life: Citizens' perception in a Brazilian case study. *Journal of cleaner production*, v. 182, p. 717-726, 2018.

MAHIZHNAN, Arun. Smart cities: the Singapore case. *Cities*, v. 16, n. 1, p. 13-18, 1999.

MALHEIRO, Benedita et al. Learning engineering with EPS@ ISEP: developing projects for smart sustainable cities. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, v. 9, n. 4, p. 33, 2019.

MANEEJUK, Paravee; YAMAKA, Woraphon. The impact of higher education on economic growth in ASEAN-5 countries. *Sustainability*, v. 13, n. 2, p. 520, 2021.

MARTINO, M. et al. Senseable city. *Digital Urban Modelling and Simulation*, 2010.

MARUNA, Marija. Toward the integration of SDGs in higher planning education: Insights from integrated urbanism study program in Belgrade. *Sustainability*, 2019, vol. 11, no 17, p. 4519.

MAZZA, P. Education & Smart Cities: The role of the goals of agenda 2030 for sustainable development of smart cities. *International Journal Innovative Studies in Socioly Humanities*, 2021, vol. 6, no 2, p. 24-31.

MCGINNIS, Michael D.; OSTROM, Elinor. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and society*, v. 19, n. 2, 2014.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Patentes. 2025. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/Notas_Metodologicas/Patentes.html?searchRef=pesquisa&tipoBusca=expressaoExata. Acesso em 02 fev 2025.

MEC/INEP. Censo escolar. MEC e Inep divulgam resultados do Censo Escolar 2023. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/assuntos/noticias/centso-escolar/mec-e-inep-divulgam-resultados-do-centso-escolar-2023#:~:text=Professores%20e%20diretores%20%E2%80%93%20Em%202023,Taxas%20de%20Transi%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em 03 fev 2025.

MEC/INEP. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Sinopse Estatística da Educação Superior, 2011 Brasília: MEC/INEP/DEED, 2011.

MEEROW, Sara; NEWELL, Joshua P.; STULTS, Melissa. Defining urban resilience: A review. *Landscape and urban planning*, 2016, vol. 147, p. 38-49.

MEHRABI, Nazila. Identifying the Effect of Key Components of Knowledge City on Knowledge Transfer. *Library and Information Sciences*, 2024, vol. 26, no 3, p. 187-207.

MELO, L. M. C.; ARAKAWA, V. H. Existe desigualdade regional na relação entre background familiar e desempenho escolar dos filhos? Evidências para as grandes regiões do Brasil. *ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS*, v. 18, 2012.

MENEGHINI, Eleandra Maria Prigol; LANA, Jeferson. Pensata: Escolhendo entre efeitos fixos e aleatórios na análise de dados em painel. *Revista Eletrônica de Negócios Internacionais (Internext)*, 2024, vol. 19, no 1, p. 16-23.

MESÍAS-LEMA, José María, et al. Cartography of Cultural Practices and Promoting Creative Policies for an Educating City. *Open Cultural Studies*, 2024, vol. 8, no 1, p. 20240032.

MICHELUCCI, Fania Valeria; DE MARCO, Alberto; TANDA, Adriano. Defining the role of the smart-city manager: An analysis of responsibilities and skills. *Journal of Urban Technology*, v. 23, n. 3, p. 23-42, 2016.

MITRA, Somnath et al. Entrepreneurship in smart cities: elements of start-up ecosystem. *Journal of Science and Technology Policy Management*, v. 14, n. 3, p. 592-611, 2023.

MJSP - Ministério da Justiça e Segurança Pública. Base de Dados e Notas Metodológicas dos Gestores Estaduais - Sinesp VDE 2015 a 2025. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/sua-seguranca/seguranca-publica/estatistica/dados-nacionais-1/base-de-dados-e-notas-metodologicas-dos-gestores-estaduais-sinesp-vde-2022-e-2023>. Acesso em 20 de dez 2024.

MOLNAR, Andreea. Smart cities education: An insight into existing drawbacks. *Telematics and Informatics*, 2021, vol. 57, p. 101509.

MORAES, Thyago de Oliveira. Análise Da Média De Alunos Por Turma E Taxas De Rendimento. Repositório Institucional Digital da Produção Científica e Intelectual da UFJF. 2023.

MORELL, Sussi; FERNANDO, Jordi. Educating city. Ajuntament de Barcelona, 1990.

MYEONG, Seunghwan; PARK, Jaehyun; LEE, Minhyung. Research models and methodologies on the smart city: A systematic literature review. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1687, 2022.

NAIR, Pradeep; SHARMA, Sandeep. Smart city: A failed approach to urban regeneration for Indian cities. 2017.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In: *Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times*. 2011. p. 282-291.

NARKOZIEV, Amanbek, et al. Digitalization of education in the context of personnel training for the maintenance of the Smart city infrastructure. En *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2024. p. 05004.

NEFFATI, Omnia Saidani et al. Migrating from traditional grid to smart grid in smart cities promoted in developing country. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 45, p. 101125, 2021.

NEIROTTI, Paolo et al. Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, v. 38, p. 25-36, 2014.

NESTI, Giorgia; GRAZIANO, Paolo Roberto. The democratic anchorage of governance networks in smart cities: an empirical assessment. *Public Management Review*, v. 22, n. 5, p. 648-667, 2020.

NEVILLE, Warwick. Managing the Smart City-State: Singapore Approaches the 21st Century 1. *New Zealand Geographer*, v. 55, n. 1, p. 35-45, 1999.

NOGUEIRA, MARLICE DE OLIVEIRA E.; SILVA, Luciano Campos. Escolarização em áreas rurais: a distorção idade-série na ótica dos gestores. *Estudos em Avaliação Educacional*, v. 33, 2022.

NOORI, Negar, et al. A framework to analyze inclusion in smart energy city development: The case of Smart City Amsterdam. *Cities*, 2025, vol. 158, p. 105710.

NORONHA, Arimaté Alves et al. Relação entre desempenho e indicadores educacionais em duas escolas de ensino médio da rede pública do Ceará. *Revista e-Curriculum*, v. 21, 2023.

OCHOA, Walter Antonio Abujder, et al. The Theory of Complexity and Sustainable Urban Development: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 2024, vol. 17, no 1, p. 1-42.

OH, Jooseok. Smart city as a tool of citizen-oriented urban regeneration: Framework of preliminary evaluation and its application. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 17, p. 6874.

OKONTA, Donatus Ebere; VUKOVIC, Vladimir. Smart cities software applications for sustainability and resilience. *Heliyon*, 2024, vol. 10, no 12.

OLIVEIRA, Ângela; GRIN, Eduardo. As cidades inteligentes e o desafio da inclusão digital. *RUA*, v. 29, n. 2, p. 433-458, 2023.

OLIVEIRA, João Ferreira; SANTOS, Catarina de Almeida. A qualidade da educação: conceitos e definições. Brasília, DF: INEP, 2007.

ONU – Organização das Nações Unidas. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13, Ação contra a mudança global do clima. 2025b. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Acesso em 29 jan 2025.

ONU - Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: ODS 4: Educação de Qualidade. 2025a. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/4>. Acesso 22 jan 2025.

ONU. ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em 13 jan 2025.

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. Segurança no trânsito. 2025. Disponível em: . Acesso em 29 jan 2025.

OSTROM, Elinor. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009.

OSTROM, Elinor. Crossing the great divide: Coproduction, synergy, and development. *World development*, v. 24, n. 6, p. 1073-1087, 1996.

QUEIDA, Soraia; ALOQAILY, Moayad; IONESCU, Sorin. A smart healthcare reward model for resource allocation in smart city. *Multimedia tools and applications*, v. 78, p. 24573-24594, 2019.

OYOLA GARCÍA, Alfredo Enrique. Desigualdad en la distribución de médicos en el Perú. *Revista Cubana de Salud Pública*, v. 47, n. 1, 2021.

PALŠA, Jakub, et al. Smart cities and the importance of smart traffic lights. En 2019 17th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). IEEE, 2019. p. 587-592.

PANAGIOTAKOPOULOS, Theodor, et al. A competency-based specialization course for smart city professionals. *Research & Practice in Technology Enhanced Learning*, 2024, vol. 19.

PANAGIOTOPOULOS, Panagiotis, et al. Reimagining Sustainable Development and Economic Performance Indicators: A Human-Centric Maslow–Bossel Blueprint. *Economies*, 2024, vol. 12, no 12, p. 338.

PANDYA, Sharnil et al. Federated learning for smart cities: A comprehensive survey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 55, p. 102987, 2023.

PANGSY-KANIA, Sylwia; KANIA, Katarzyna. Key Dimensions in Smart Cities' Rankings-Towards Enhancing the Quality of Life for Smart Cities' Inhabitants. *Ekonomia i Prawo. Economics and Law*, 2024, vol. 23, no 3, p. 493-518.

PARK, Joon; YOO, Seungho. Evolution of the smart city: three extensions to governance, sustainability, and decent urbanisation from an ICT-based urban solution. *International Journal of Urban Sciences*, 2023, vol. 27, no sup1, p. 10-28.

PAUL, Ronak; RASHMI, Rashmi; SRIVASTAVA, Shobhit. Does lack of parental involvement affect school dropout among Indian adolescents? evidence from a panel study. *Plos one*, v. 16, n. 5, p. e0251520, 2021.

PAZOS-GARCÍA, María J., et al. Quality of life in cities: An outcome and a resource?. *European Research on Management and Business Economics*, 2025, vol. 31, no 1, p. 100264.

PENCO, Lara; IVALDI, Enrico; CIACCI, Andrea. Entrepreneurial ecosystem and well-being in European smart cities: a comparative perspective. *The TQM Journal*, v. 33, n. 7, p. 318-350, 2021.

PICATOSTE, Jose et al. Smart cities for wellbeing: youth employment and their skills on computers. *Journal of Science and Technology Policy Management*, v. 9, n. 2, p. 227-241, 2018.

PNE. Plano Nacional de Educação - Lei nº 13.005/2014. 2014. Disponível em: <https://pne.mec.gov.br/18-planos-subnacionais-de-educacao/543-plano-nacional-de-educacao-lei-n-13-005-2014>. Acesso em 27 jan 2025.

POONGODI, Manoharan et al. Smart healthcare in smart cities: wireless patient monitoring system using IoT. *The Journal of Supercomputing*, p. 1-26, 2021.

PRASAD, Deepti; ALIZADEH, Tooran; DOWLING, Robyn. Smart city planning and the challenges of informality in India. *Dialogues in Human Geography*, 2024, vol. 14, no 3, p. 385-402.

PUJOL, Francisco A.; MORA, Higinio; PERTEGAL, Maria Luisa. A soft computing approach to violence detection in social media for smart cities. *Soft Computing*, 2020, vol. 24, no 15, p. 11007-11017.

PULIGA, Gloria et al. Bibliometric analysis of scientific publications and patents on smart cities. *Tech. Rep. JRC129102*, Publications Office of the European Union, 2023.

QIAN, Yi et al. The internet of things for smart cities: Technologies and applications. *IEEE Network*, v. 33, n. 2, p. 4-5, 2019.

QUEIROZ, Marcelo Victor Alves Bila; SAMPAIO, Raquel Menezes Bezerra; SAMPAIO, Luciano Menezes Bezerra. Dynamic efficiency of primary education in Brazil:

Socioeconomic and infrastructure influence on school performance. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 70, p. 100738, 2020.

QUESADA, Enrique Vílchez. Redescubriendo la pedagogía de la esperanza de Paulo Freire. *Revista ensayos pedagógicos*, 2021, vol. 16, no 1, p. 103-116.

RAJABI, Azita; TEYMOORI, Samaneh; TABEBORDBAR, Sajad. Development of knowledge city as a smart growth strategy of Shiraz metropolis. *Geographical Engineering of Territory*, v. 7, n. 3, p. 537-554, 2023.

RAMOS, Ana Carolina; GONÇALVES, Oswaldo. Abandono e evasão escolar sob a ótica dos sujeitos envolvidos. *Educação e Pesquisa*, v. 50, p. e268037, 2024.

RANKING CONNECTED SMART CITIES. 2023. DISPONÍVEL EM: <https://ranking.connectedsmartcities.com.br/>. Acesso em: 20 de nov 2024.

RAZMJOO, Armin et al. Effective policies to overcome barriers in the development of smart cities. *Energy Research & Social Science*, v. 79, p. 102175, 2021.

REZENDE, Denis Alcides; ALMEIDA, Giovana Goretti Feijó; FUMAGALLI, Luis André Wernecke. Strategic digital city: multiple projects for sustainable urban management. *Sustainability*, 2024, vol. 16, no 13, p. 5450.

RIBEIRO, José et al. Prediction of homicides in urban centers: A machine learning approach. In: *Intelligent Systems and Applications: Proceedings of the 2021 Intelligent Systems Conference (IntelliSys) Volume 3*. Springer International Publishing, 2022. p. 344-361.

RIBEIRO, Vera Cristina, et al. Co-creation as a driver of geo-environmental learning approach to adapt cities to climate changes. *Soils and Rocks*, 2024, vol. 47, no 2, p. e2024004823.

ROBERTS, Andrew Dougall. Smart City (ies): Citizen Equalisers or Inequality Generators. 2023. From the Edited Volume *Social Inequality - Structure and Social Processes*. Edited by Yaroslava Robles-Bykbaev. 26 June 2024. 978-1-83768-406-9. DOI: 10.5772/intechopen.109496

ROBERTS, Peter; HUNTER, Colin. Managing the metropolitan environment: the challenge for European cities. *Planning Outlook*, v. 34, n. 2, p. 57-60, 1991.

ROCHA, Paula Del Ponte; FERREIRA, Maira. O ENEM como política de avaliação: efeitos na educação básica e na produção de sujeitos. *Educação, Ciência e Cultura*, v. 25, n. 1, p. 253-266, 2020.

RODRIGUES, L. IBGE revela desigualdade no acesso à educação e queda no analfabetismo: dados são da Pnad Contínua, divulgada pelo IBGE. Agência Brasil, Rio de Janeiro, jun. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/educacao/noticia/2023-06/ibge-revela-desigualdade-no-acesso-educacao-e-queda-no-analfabetismo>. Acesso em: 06 maio 2024.

ROGELJ, Joeri et al. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature climate change*, v. 8, n. 4, p. 325-332, 2018.

ROHMAH, Amandita ‘Ainur; RACHMAWATI, Rini; MEI, Estuning Tyas Wulan. Smart city achievement through implementation of digital health services in handling COVID-19 Indonesia. *Smart Cities*, v. 6, n. 1, p. 639-651, 2023.

ROMERO-YESA, Susana, et al. Qualitative assessment of a challenge-based learning and teamwork applied in electronics program. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no 12.

ROSELAND, M. Toward sustainable cities. *Ecodecision*, v. 3, p. 48-52, 1991.

ROSELAND, Mark. Toward sustainable communities: Solutions for citizens and their governments. New Society Publishers, 2012.

RUHLANDT, Robert Wilhelm Siegfried. The governance of smart cities: A systematic literature review. *Cities*, v. 81, p. 1-23, 2018.

SADOWSKI, Jathan; BENDOR, Roy. Selling smartness: Corporate narratives and the smart city as a sociotechnical imaginary. *Science, Technology, & Human Values*, v. 44, n. 3, p. 540-563, 2019.

SAINI, Munish et al. Sustainable Development Goal for Quality Education (SDG 4): A study on SDG 4 to extract the pattern of association among the indicators of SDG 4 employing a genetic algorithm. *Education and Information Technologies*, v. 28, n. 2, p. 2031-2069, 2023.

SALLABERRY, Jonatas Dutra et al. Determinantes do gasto público em Educação nos municípios do estado do Mato Grosso do Sul. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, v. 30, n. 117, p. 979-999, 2022.

SÁNCHEZ-CORCUERA, Ruben et al. Smart cities survey: Technologies, application domains and challenges for the cities of the future. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 15, n. 6, p. 1550147719853984, 2019.

SANCINO, Alessandro; HUDSON, Lorraine. Leadership in, of, and for smart cities—case studies from Europe, America, and Australia. *Public Management Review*, v. 22, n. 5, p. 701-725, 2020.

SANTOS, Caio Nery Matos et al. Suspicious Behavior Detection near Vehicles in University Environment: An Approach using Object Detection and Body Angles. In: *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Information Systems*. 2024. p. 1-10.

SANTOS, Josiane Soares, et al. Política de educação no Brasil contemporâneo. *Temporalis*, 2024, vol. 24, no 47, p. 7-14.

SANTOS, Vanice dos; CANDELORO, Rosana J. Trabalhos acadêmicos: uma orientação para a pesquisa e normas técnicas. Porto Alegre: AGE, p. 73, 2006.

SANTOSA, Iqbal; SUPANGKAT, Suhono Harso; ARMAN, Arry Akhmad. People-Centric Smart City Services Measurement Using Garuda Smart City Framework. En 2024 Mediterranean Smart Cities Conference (MSCC). IEEE, 2024. p. 1-5.

SARAIVA, Ana Maria Alves. As políticas de retenção profissional de docentes na Região Nordeste: implementação, rotatividade e regularidade. *Educar em Revista*, v. 39, p. e85942, 2023.

SARRA, Annalina; FONTANELLA, Lara; DI ZIO, Simone. Identifying students at risk of academic failure within the educational data mining framework. *Social Indicators Research*, v. 146, p. 41-60, 2019.

SCALA, Debora, et al. Bibliometric Study on the Conceptualisation of Smart City and Education. *Smart Cities*, 2024, vol. 7, no 1, p. 597-614.

SCHATZ, Laura; JOHNSON, Laura C. Smart city north: economic and labour force impacts of call centres in Sudbury, Ontario. *Work Organisation, Labour and Globalisation*, 2007, vol. 1, no 2, p. 116-130.

SCOTT, Leodis. Learning cities as smart cities: connecting lifelong learning and technology. In: *Examining the Socio-Technical Impact of Smart Cities*. IGI Global, 2021. p. 1-23.

SEABRA, Teresa; CÂNDIDO, A. Os alunos de nacionalidade estrangeira nos ensinos básico e secundário em Portugal continental (2011/12 a 2016/17): taxas de aprovação. *Observatório das Desigualdades*, ISCTE-IUL & CIES-IUL, 2020.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. O que é patente? Conheça os tipos e questões legais a respeito das patentes. 2017. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/mt/artigos/o-que-e-patente,af88f8ba5a17a510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em 02 fev 2025.

SECINARO, Silvana, et al. Towards a hybrid model for the management of smart city initiatives. *Cities*, 2021, vol. 116, p. 103278.

SERGI, Bruno S. et al. Smart cities and economic growth in Russia. In: *Modeling economic growth in contemporary Russia*. Emerald Publishing Limited, 2019. p. 249-272.

SETHI, Shruti; KULKARNI, Prasanna; BALAJI, C. G. Exploring the Role of IoT in Supporting Disabled Individuals in Workplaces and Educational Settings. En *2024 Second International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI)*. IEEE, 2024. p. 265-271.

SHAFIK, Wasswa. Shaping the Next Generation Smart City Ecosystem: An Investigation on the Requirements, Applications, Architecture, Security and Privacy, and Open Research Questions. En *Smart Cities: Innovations, Challenges and Future Perspectives*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 3-52.

SHAMSUZZOHA, Ahm et al. Smart city for sustainable environment: A comparison of participatory strategies from Helsinki, Singapore and London. *Cities*, v. 114, p. 103194, 2021.

SHAO, Jiangjiang; MIN, Byunghak. Sustainable development strategies for Smart Cities: Review and development framework. *Cities*, 2025, vol. 158, p. 105663.

SHARIF, M. N. (2012). Technological innovation governance for winning the future. *Technological forecasting and social change*, 79(3), 595-604.

SHARIFI, Ayyoob, et al. Smart cities and sustainable development goals (SDGs): A systematic literature review of co-benefits and trade-offs. *Cities*, 2024, vol. 146, p. 104659.

SHARMA, Manu et al. Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. *Journal of Cleaner Production*, v. 270, p. 122047, 2020.

SHEN, Chen; XU, Yan; YUAN, Zhihang. Digital dialogue in smart cities: Evidence from public concerns, government responsiveness, and citizen satisfaction in China. *Cities*, v. 158, p. 105717, 2025.

SILBERMAN, Pedro; SILBERMAN, Martin. ¿Cómo evolucionó la distribución de médicas y médicos especialistas en Argentina? Un análisis demográfico de la profesión médica al 2020. *Archivos de medicina familiar y general*, v. 19, n. 3, 2022.

SILVA, Bhagya Nathali; KHAN, Murad; HAN, Kijun. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable cities and society*, v. 38, p. 697-713, 2018.

SIMONOFSKI, Anthony et al. Investigating context factors in citizen participation strategies: A comparative analysis of Swedish and Belgian smart cities. *International Journal of Information Management*, v. 56, p. 102011, 2021.

SMITH, Harry et al. Exploring the relevance of 'smart city' approaches to low-income communities in Medellín, Colombia. *GeoJournal*, v. 88, n. 1, p. 17-38, 2023.

SNYDER, Caitlin. Understanding Data Science Instruction in Multiple STEM Domains. In: 2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access. 2021.

SOARES, Guilherme Araújo; TRINDADE, Luana Dias; DOLZANE, Maria Ione Feitosa. Reflexões sobre a educação brasileira: a implementação do Novo Ensino Médio e seus impactos na juventude amazonense. *Revista Temas em Educação*, [S. l.], 2024, vol. 33, no 1.

SOARES, José Francisco. O efeito da escola no desempenho cognitivo de seus alunos. REICE: Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, v. 2, n. 2, p. 6, 2004.

SOARES, Raimundo de Castro et al. Minerando dados para entender os fatores de influência da qualidade educacional do maranhão. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 31, p. 378-406, 2023.

SOTT, Michele Kremer; SILVA, Luciana Maines; FACCIN, Kadígia. A widespread review of smart cities: identifying dimensions and core components. *IAMOT Conference 2023 - International Association for Management of Technology*. 2023/5.

SOUZA, Alba Regina Battisti de Souza; MARTINS FILHO, Lourival José; MARTINS, Rosa Elisabete Militz Wypczynski. Programa de Residência Pedagógica: conexões entre a

formação docente e a Educação Básica. *Formação Docente—Revista Brasileira de Pesquisa sobre Formação de Professores*, v. 12, n. 25, p. 137-150, 2020.

SPILIOTOPOULOU, Maria; ROSELAND, Mark. Urban sustainability: From theory influences to practical agendas. *Sustainability*, v. 12, n. 18, p. 7245, 2020.

SRIVASTAVA, Shweta; BISHT, Aditya; NARAYAN, Neetu. Safety and security in smart cities using artificial intelligence—A review. In: 2017 7th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering-Confluence. IEEE, 2017. p. 130-133.

STEDMAN, James B. Class Size Reduction Program: Background and Status. Congressional Research Service, Library of Congress. 2001.

STEELE, Fiona; VIGNOLES, Anna; JENKINS, Andrew. The effect of school resources on pupil attainment: a multilevel simultaneous equation modelling approach. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, v. 170, n. 3, p. 801-824, 2007.

SUBKHAN, FARID, et al. Digital Economy Reformulation and Economic Competitiveness of Smart Cities: An Application of Soft Systems Methodology. *International Journal of Economics & Management*, 2024, vol. 18, no 2.

SUNLEY, Peter et al. In search of the skilled city: Skills and the occupational evolution of British cities. *Urban Studies*, v. 57, n. 1, p. 109-133, 2020.

SURENDRAN, D., et al. Improving the quality of education through data analytics and big data contributions. En AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2024.

TAN, Margaret. Creating the digital economy: Strategies and perspectives from Singapore. *International Journal of Electronic Commerce*, v. 3, n. 3, p. 105-122, 1999.

TARAWNEH, Monther; ALZYOUD, Faisal; SHARRAB, Yousef. Artificial intelligence traffic analysis framework for smart cities. In: Science and Information Conference. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 699-711.

TESTI, Niccolò; MARCONI, Rebecca; PASHER, Edna. Exploring the potential of blockchain technology for citizen engagement in smart governance. *Open Research Europe*, v. 3, n. 183, p. 183, 2025.

TOH, Chai Keong. Smart city indexes, criteria, indicators and rankings: An in-depth investigation and analysis. *IET Smart Cities*, v. 4, n. 3, p. 211-228, 2022.

TOMÀS, Mariona. The smart city and urban governance: The urban transformation of Barcelona, 2011–2023. *Urban Research & Practice*, 2024, vol. 17, no 4, p. 588-605.

TSOUTSA, Paraskevi et al. Empowering urban futures: Key competencies for smart city resilience officers. *Urban Governance*, v. 4, n. 3, p. 180-192, 2024.

TSOUTSA, Paraskevi; LAMPROPOULOS, Ioannis Ch. Preparing for smart cities' future competences: Trends arising through keyword and review analysis. In: Building on Smart

Cities Skills and Competences: Human factors affecting smart cities development. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 37-51.

TUPASELA, Aaro et al. Older people and the smart city—Developing inclusive practices to protect and serve a vulnerable population. *Internet policy review*, v. 12, n. 1, p. 45-45, 2023.

UNICEF. Fundo das Nações Unidas. Indicadores de Qualidade de vida no ensino médio. 2007. / Ação Educativa, UNICEF [Coord.]. – São Paulo: Ação Educativa, 2018. 120p. ISBN 978-85-86382-52-9. Disponível em: https://www.unicef.org/brazil/media/1521/file/Indicadores_da_Qualidade_no_Ensino_Medio.pdf. Acesso em 22 jan 2025.

UNICEF; INEP. 2013. Indicadores da Qualidade na Educação: Ensino fundamental. / Ação Educativa, Unicef, Pnud, Inep, SEB/MEC (coordenadores) – São Paulo: Ação Educativa, 2013, 4ª edição ampliada. 92 p. ISBN 978-85-86382-27-7.

UPHOFF, Norman. Systems thinking on intensification and sustainability: systems boundaries, processes and dimensions. *Current opinion in environmental sustainability*, v. 8, p. 89-100, 2014.

URBAN SYSTEMS. Ranking Connected Smart Cities 2024. 2024. Disponível em: <https://connectedsmartcities.com.br/>. Acesso em 01 jan 2025.

VAFAEVA, Khristina Maksudovna, et al. Community Engagement in Smart Cities: A Social Network Analysis and Community Engagement Test. En BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2024. p. 01073.

VAIDYA, Hitesh; CHATTERJI, Tathagata. SDG 11 sustainable cities and communities: SDG 11 and the new urban agenda: Global sustainability frameworks for local action. Actioning the global goals for local impact: Towards sustainability science, policy, education and practice, p. 173-185, 2020.

VANLI, Tara. Ranking of global smart cities using dynamic factor analysis. *Social Indicators Research*, 2024, vol. 171, no 2, p. 405-437.

VICENTE RUIZ, Francisco; ZAPATERA LLINARES, Alberto; MONTÉS SÁNCHEZ, Nicolás. “Sustainable city”: A steam project using robotics to bring the city of the future to primary education students. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 22, p. 9696.

VILLAÇA, Flávio. Espaço intra-urbano no Brasil. Studio nobel, 1998.

VOGELEY, Joanna; RYDER, Paul. Invigorating Impact Investment Networks: Actor-Actant Engagement in a Smart City Environment. *Journal of Social Entrepreneurship*, 2023, p. 1-22. VON BERTALANFFY, Ludwig. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1975.

WAGHMARE, Madhurima. Democratic participation and smart city citizenship in emerging economies—Case of smart cities in India. *Cities*, 2024, vol. 148, p. 104910.

WELSH, Richard O. Assessing the quality of education research through its relevance to practice: An integrative review of research-practice partnerships. *Review of Research in Education*, v. 45, n. 1, p. 170-194, 2021.

WERLE, Flávia Obino Corrêa. Políticas de avaliação em larga escala na educação básica: do controle de resultados à intervenção nos processos de operacionalização do ensino. *Ensaio: Avaliação e políticas públicas em educação*, v. 19, n. 73, p. 769-793, 2011.

WHIG, Pawan, et al. Digital Twin-Enabled Solution for Smart City Applications. En *Transforming Industry using Digital Twin Technology*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 259-280.

WOLFF, Annika; WERMELINGER, Michel; PETRE, Marian. Exploring design principles for data literacy activities to support children's inquiries from complex data. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 129, p. 41-54, 2019.

WOLNIAK, Radosław; JONEK-KOWALSKA, Izabela. The level of the quality of life in the city and its monitoring. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 2021, vol. 34, no 3, p. 376-398.

WOODS, Orlando; BUNNELL, Tim; KONG, Lily. Insourcing the smart city: assembling an ideo-technical ecosystem of talent, skills, and civic-mindedness in Singapore. *Urban Geography*, v. 45, n. 5, p. 735-754, 2024.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT press, 2010.

WU, Ning; LIU, ZuanKuo. Higher education development, technological innovation and industrial structure upgrade. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 162, p. 120400, 2021.

XU, Aiting; WANG, Wenpu; ZHU, Yuhan. Does smart city pilot policy reduce CO2 emissions from industrial firms? Insights from China. *Journal of Innovation & Knowledge*, v. 8, n. 3, p. 100367, 2023.

XU, Hong; GENG, Xuexian. People-centric service intelligence for smart cities. *Smart Cities*, v. 2, n. 2, p. 135-152, 2019.

YANG, Perry PJ; YAMAGATA, Yoshiki. Urban systems design: shaping smart cities by integrating urban design and systems science. In: *Urban Systems Design*. Elsevier, 2020. p. 1-22.

YANG, Zhen et al. Aggravating or alleviating? Smart city construction and urban inequality in China. *Technology in Society*, v. 77, p. 102562, 2024.

YAO, Fang; WANG, Yan. Towards resilient and smart cities: A real-time urban analytical and geo-visual system for social media streaming data. *Sustainable Cities and Society*, v. 63, p. 102448, 2020.

YIGITCANLAR, Tan, et al. What are the key factors affecting smart city transformation readiness? Evidence from Australian cities. *Cities*, 2022, vol. 120, p. 103434.

YIGITCANLAR, Tan. Making space and place for the knowledge economy: knowledge-based development of Australian cities. *European Planning Studies*, v. 18, n. 11, p. 1769-1786, 2010.

ZAIT, Adriana. Exploring the role of civilizational competences for smart cities' development. *Transforming government: people, process and policy*, v. 11, n. 3, p. 377-392, 2017.

ZHANG, Liang; ZHANG, Linlin; LIU, Xue. Evaluation of urban spatial growth performance from the perspective of a polycentric city: A case study of Hangzhou. *Land*, v. 11, n. 8, p. 1173, 2022.

ZHAO, Wei; YANG, Xinyue; SUN, Ning. Do Digital City Policies Promote Corporate ESG Performance? Evidence from Research on Textual Analysis of China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2024, p. 1-20.

ZHOU, Qian et al. Achieving resilience through smart cities? Evidence from China. *Habitat International*, v. 111, p. 102348, 2021.

ZHOU, Yixin et al. Urban rain flood ecosystem design planning and feasibility study for the enrichment of smart cities. *Sustainability*, v. 13, n. 9, p. 5205, 2021.

ZHU, Huiying; SHEN, Liyin; REN, Yitian. How can smart city shape a happier life? The mechanism for developing a Happiness Driven Smart City. *Sustainable cities and society*, 2022, vol. 80, p. 103791.

ZICA, M. R.; IONICA, Andreea Cristina; LEBA, Monica. Gamification in the context of smart cities. In: *IOP conference series: materials science and engineering*. IOP Publishing, 2018. p. 012045.

ZUBIZARRETA, Iker; SERAVALLI, Alessandro; ARRIZABALAGA, Saioa. Smart city concept: What it is and what it should be. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 142, n. 1, p. 04015005, 2016.

APÊNDICE A – Lista de cidades

Município	UF	Cód IBGE	Município	UF	Cód IBGE
Americana	SP	3501608	Londrina	PR	4113700
Amparo	SP	3501905	Lorena	SP	3527207
Anápolis	GO	5201108	Louveira	SP	3527306
Andradina	SP	3502101	Lucas do Rio Verde	MT	5105259
Aparecida de Goiânia	GO	5201405	Macaé	RJ	3302403
Apucarana	PR	4101408	Maceió	AL	2704302
Aracaju	SE	2800308	Manaus	AM	1302603
Araçatuba	SP	3502804	Mariana	MG	3140001
Araraquara	SP	3503208	Marília	SP	3529005
Araras	SP	3503307	Maringá	PR	4115200
Araxá	MG	3104007	Mauá	SP	3529401
Atibaia	SP	3504107	Mogi das Cruzes	SP	3530607
Balneário Camboriú	SC	4202008	Mogi Guaçu	SP	3530706
Barretos	SP	3505500	Montes Claros	MG	3143302
Barueri	SP	3505708	Natal	RN	2408102
Bauru	SP	3506003	Niterói	RJ	3303302
Belém	PA	1501402	Nova Lima	MG	3144805
Belo Horizonte	MG	3106200	Osasco	SP	3534401
Bento Gonçalves	RS	4302105	Ouro Preto	MG	3146107
Betim	MG	3106705	Palmas	TO	1721000
Blumenau	SC	4202404	Parauapebas	PA	1505536
Boa Vista	RR	1400100	Pato Branco	PR	4118501
Boituva	SP	3507001	Patos de Minas	MG	3148004
Botucatu	SP	3507506	Paulínia	SP	3536505
Bragança Paulista	SP	3507605	Pelotas	RS	4314407
Brasília	DF	5300108	Petrolina	PE	2611101
Cabedelo	PB	2503209	Petrópolis	RJ	3303906
Cachoeiro de Itapemirim	ES	3201209	Pindamonhangaba	SP	3538006
Cajamar	SP	3509205	Pinhais	PR	4119152
Campina Grande	PB	2504009	Piracicaba	SP	3538709
Campinas	SP	3509502	Poá	SP	3539806
Campo Grande	MS	5002704	Poços de Caldas	MG	3151800
Campos dos Goytacazes	RJ	3301009	Ponta Grossa	PR	4119905
Canoas	RS	4304606	Porto Alegre	RS	4314902
Caraguatatuba	SP	3510500	Porto Ferreira	SP	3540705
Cascavel	PR	4104808	Pouso Alegre	MG	3152501
Catanduva	SP	3511102	Praia Grande	SP	3541000
Caxias do Sul	RS	4305108	Presidente Prudente	SP	3541406
Chapecó	SC	4204202	Primavera do Leste	MT	5107040
Cianorte	PR	4105508	Recife	PE	2611606
Colatina	ES	3201506	Registro	SP	3542602
Congonhas	MG	3118007	Resende	RJ	3304201
Contagem	MG	3118601	Ribeirão Preto	SP	3543402
Cotia	SP	3513009	Rio Branco	AC	1200401

Criciúma	SC	4204608	Rio Claro	SP	3543907
Cubatão	SP	3513504	Rio de Janeiro	RJ	3304557
Cuiabá	MT	5103403	Rio Verde	GO	5218805
Curitiba	PR	4106902	Rondonópolis	MT	5107602
Diadema	SP	3513801	Salto	SP	3545209
Dourados	MS	5003702	Salvador	BA	2927408
Erechim	RS	4307005	Santa Fé do Sul	SP	3546603
Eusébio	CE	2304285	Santa Maria	RS	4316907
Florianópolis	SC	4205407	Santana de Parnaíba	SP	3547304
Fortaleza	CE	2304400	Santo André	SP	3547809
Foz do Iguaçu	PR	4108304	Santos	SP	3548500
Francisco Beltrão	PR	4108403	São Bernardo do Campo	SP	3548708
Goiânia	GO	5208707	São Caetano do Sul	SP	3548807
Goiatuba	GO	5209101	São Carlos	SP	3548906
Governador Valadares	MG	3127701	São João da Boa Vista	SP	3549102
Guarapuava	PR	4109401	São João de Meriti	RJ	3305109
Guarujá	SP	3518701	São José do Rio Preto	SP	3549805
Guarulhos	SP	3518800	São José dos Campos	SP	3549904
Hortolândia	SP	3519071	São José dos Pinhais	PR	4125506
Ilha Solteira	SP	3520442	São Paulo	SP	3550308
Indaiatuba	SP	3520509	São Sebastião	SP	3550704
Ipatinga	MG	3131307	Saquarema	RJ	3305505
Itabira	MG	3131703	Serra	ES	3205002
Itabirito	MG	3131901	Sertãozinho	SP	3551702
Itajaí	SC	4208203	Sete Lagoas	MG	3167202
Itanhaém	SP	3522109	Sobral	CE	2312908
Itapema	SC	4208302	Sorocaba	SP	3552205
Itatiba	SP	3523404	Suzano	SP	3552502
Itaúna	MG	3133808	Taubaté	SP	3554102
Itu	SP	3523909	Teresina	PI	2211001
Itumbiara	GO	5211503	Teutônia	RS	4321451
Itupeva	SP	3524006	Tietê	SP	3554508
Jaboatão dos Guararapes	PE	2607901	Toledo	PR	4127700
Jaboticabal	SP	3524303	Três Lagoas	MS	5008305
Jacareí	SP	3524402	Tubarão	SC	4218707
Jaguariúna	SP	3524709	Uberaba	MG	3170107
Jaraguá do Sul	SC	4208906	Uberlândia	MG	3170206
Jataí	GO	5211909	Umuarama	PR	4128104
Joaçaba	SC	4209003	Valinhos	SP	3556206
João Pessoa	PB	2507507	Varginha	MG	3170701
Joinville	SC	4209102	Viçosa	MG	3171303
Juiz de Fora	MG	3136702	Vila Velha	ES	3205200
Jundiá	SP	3525904	Vinhedo	SP	3556701
Lajeado	RS	4311403	Vitória	ES	3205309
Lençóis Paulista	SP	3526803	Vitória da Conquista	BA	2933307
Limeira	SP	3526902	Volta Redonda	RJ	3306305

Linhares	ES	3203205	Votuporanga	SP	3557105
Lins	SP	3527108			