

TRANS VERSO

07 Importância da infraestrutura urbana na consolidação de cidades inteligentes



recebido em 31/08/2024
aprovado em 30/09/2024

Importância da infraestrutura urbana na consolidação de cidades inteligentes

Isaias Carlos de Azevedo Júnior

iscjunior@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG

Raquel Diniz Oliveira

raqueldo@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG

Flávia Spitale Jacques Poggiali

flaviaspitale@cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG

RESUMO (PT): Os grandes centros urbanos geram uma vasta quantidade de dados por meio de suas atividades e processos. A organização e análise desses dados são essenciais para a gestão otimizada das cidades. Este estudo possibilitou a análise de diversos parâmetros e indicadores prioritários para políticas públicas na cidade de Belo Horizonte. Os dados, obtidos de bases públicas, foram organizados em uma plataforma georreferenciada, permitindo a correlação de diversos parâmetros com indicadores urbanos. A análise de correlação revelou que as regiões da cidade com melhor infraestrutura urbana apresentaram desempenho superior em seus indicadores. Assim, constatou-se uma forte correlação entre a disponibilidade de infraestrutura urbana e indicadores de melhor desempenho. Essa correlação sugere que a infraestrutura pode ser um fator relevante para a melhoria de indicadores, contribuindo para a consolidação de cidades mais inteligentes e sustentáveis. Conclui-se que o estudo de correlação entre indicadores e parâmetros urbanos pode ser uma ferramenta útil para a gestão municipal, auxiliando na priorização de investimentos em infraestrutura.

Palavras-chave: *Infraestrutura Urbana, Indicadores Urbanos, Parâmetros Urbanos, Cidades Inteligentes e Sustentáveis.*

ABSTRACT (ENG): *Urban centers generate a vast amount of data through their processes. The organization and analysis of this data are essential for optimized city management. This study enabled the analysis of various parameters and priority indicators for public policies in Belo Horizonte. The data, obtained from public sources, were organized on a georeferenced platform, allowing the correlation of various parameters with urban indicators. The correlation analysis revealed that regions of the city with better urban infrastructure showed superior performance in their indicators. Thus, a strong correlation was found between the availability of urban infrastructure and better performance indicators. This correlation suggests that infrastructure may be a relevant factor for improving these indicators, contributing to the consolidation of smarter and more sustainable cities. It is concluded that the study of the correlation between indicators and urban parameters can be a useful tool for municipal management, assisting in the prioritization of infrastructure investments.*

Keywords: *Urban Infrastructure, Urban Indicators, Urban Parameters, Smart and Sustainable Cities.*

1. Introdução

O protagonismo e a importância das cidades na história da humanidade nunca foram tão grandes quanto no atual momento em que vivemos. Tais assentamentos, que surgiram a partir do avanço de tecnologias e regras que viabilizaram a permanência e a convivência de grandes grupos de pessoas, tem se mantido em constante evolução por milhares de anos. Atualmente, alguns autores se referem ao século 21 como o século das cidades. Tal importância pode ser evidenciada pelas projeções previstas para as próximas décadas: em 2030, espera-se que 60% da população viva em grandes metrópoles; já em 2050, estima-se que este percentual salte para 75%, podendo chegar a mais de 80% até o final do século. Hoje, em alguns países desenvolvidos, estas taxas de urbanização, já são uma realidade, como por exemplo no caso do Reino Unido (Yigitcanlar; Kamruzzaman, 2018).

O crescimento vertiginoso das populações urbanas é um fenômeno importante desta era conhecida como Antropoceno, na qual diversos fenômenos, decorrentes das atividades humanas, tem ocorrido em larga escala (Travis, 2017). Assim, é inevitável que o atual período, fortemente marcado pelos impactos humanos nos ecossistemas, demande grandes esforços para a mudanças de alguns paradigmas.

Desta forma, não é exagero dizer que as cidades estão no centro dos desafios globais, por outro lado, possuindo papel importante e decisivo em suas soluções. Ao ocupar apenas 3% da superfície terrestre, impulsionam fortemente o crescimento econômico com 80% do PIB (Produto Interno Bruto) global, entretanto, são responsáveis pela emissão de 75% dos gases de efeito estufa (Kankaala et al., 2018). Assim, fica claro que as mudanças em âmbito local têm maior potencial para resolver esses grandes desafios por meio da inovação focada no aumento da eficiência dos processos urbanos. Neste sentido, as demandas pela quebra de paradigmas relacionados a sustentabilidade das cidades foram recentemente incluídas nos principais acordos internacionais, dentre os quais se destacam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Nova Agenda Urbana fomentados pela Organização das Nações Unidas.

O desenvolvimento tecnológico para tratar as demandas relacionadas a evolução do ambiente urbano tem se acelerado com soluções em energias sustentáveis, tecnologias de construção, IoT (Internet of Things), sensores, mobilidade, robótica e diversas fontes de dados (Zanella et al., 2014). A partir do desenvolvimento e da disseminação destas novas tecnologias passou a ser produzido um grande volume de informações que, em grande parte, ainda são desperdiçadas ou subutilizadas (Dold; Groopman, 2017). Desta forma, a classificação de informações e parâmetros urbanos relevantes para a análise das cidades tem grande potencial para contribuir com o planejamento de políticas públicas mais eficazes.

No Brasil, mais da metade da população vive em 6% do território nacional. Apenas 17 municípios, dentre 5.570, concentram uma população de 46,38 milhões de pessoas, ou seja 21,9% dos brasileiros, de um total de 211,8 milhões de habitantes (Guimar; Szpiz, 2020). Desta forma, o ambiente urbano brasileiro, bem como sua tendência de crescimento, precisa ser compreendido para que ações e políticas públicas sejam cada vez mais assertivas e proporcionem o desenvolvimento e o aperfeiçoamento do uso e ocupação destes espaços. Sendo assim, pesquisas que contribuam para a consolidação do conhecimento sobre o desempenho de processos das cidades possuem

potencial para alcançar a maior fatia da população brasileira com medidas que contribuam, efetivamente, para a melhoria de sua qualidade de vida.

Atualmente é viável e, relativamente barato, captar, perceber e acompanhar diversas variáveis por meio de sensores, softwares e plataformas digitais. O uso destas tecnologias requer coordenação e sincronização de diversos sistemas, bancos de dados, dispositivos, ambientes, processos de trabalho e usuários. Neste contexto, têm sido empregados, na administração pública de diversas cidades, sensores, tecnologia robótica, câmeras, aprendizado de máquina, criptografia, computação em nuvem e inteligência artificial (Fraga-Lamas; Fernández-Caramés; Castedo, 2017).

2. Fundamentação Teórica

2.1 Cidades inteligentes sustentáveis

A partir do rápido desenvolvimento de diversas tecnologias, sobretudo as relacionadas a sistemas de informação, infraestrutura, aumento da capacidade de hardware, armazenamento e análise de dados, foi possível viabilizar a coleta e tratamento de diversas informações geradas pelos processos das cidades. Com base nestes avanços tecnológicos, passou a ser possível uma análise mais completa e holística de diversos problemas, permitindo estudos com foco na otimização de diversos processos, impactando diretamente a vida e o bem-estar nas cidades (Stadler, 2013).

Neste contexto surge no final da década de 1990 o conceito de *Smart Cities*, ou em português: cidades inteligentes. Nesta época, de forma pioneira, Genebra/Suíça, Tampere/Finlândia, Hong Kong/China e Cingapura já davam os primeiros passos no desenvolvimento de tecnologia da informação, com foco em aumentar sua competitividade econômica associada a indicadores de bem-estar social e sustentabilidade (Mousavi; McGrail; Varadan, 2017).

O conceito de cidade inteligente também leva em consideração a preparação de um ambiente urbano mais resiliente frente aos impactos relacionados às mudanças climáticas, fazendo uso das tecnologias digitais para aperfeiçoar o planejamento urbano (Hämäläinen, 2020).

2.2 Análise de parâmetros urbanos

A análise dos parâmetros e indicadores urbanos georreferenciados, tem sido viabilizada também por técnicas de classificação de cidades, também conhecidas como *benchmarking* ou análise de *rating*. Para tanto, a comparação quantitativa entre diferentes cidades tem sido desenvolvida por diversas organizações. Desta forma, é necessário identificar o conjuntos de múltiplos indicadores, por meio dos quais pode ser apurado um índice que indique o nível de desenvolvimento urbano inteligente que permita a comparação de cidades (Vanolo, 2014).

Nesse sentido, também é imprescindível que os indicadores e parâmetros urbanos, selecionados para direcionar os estudos, possam refletir projetos específicos e focados na construção, melhoria e evolução das cidades, contribuindo assim para a um ambiente urbano sustentável.

2.3 Pesquisas correlacionadas

Diversos estudos tem abordado o impacto de parâmetros urbanos frente aos novos desafios apresentados às cidades. Neste sentido, várias pesquisas, assim como o presente trabalho, abordam as tecnologias e metodologias que possam ser utilizadas para fomentar a eficiência, inteligência e sustentabilidade das cidades, por meio da análise de dados urbanos.

No trabalho desenvolvido por Wilson e Chakraborty (2019) foi proposta a avaliação do papel da tecnologia na melhoria da governança e dos serviços públicos em uma cidade inteligente. O cenário escolhido para o desenvolvimento da pesquisa foi a cidade de Chicago/EUA, selecionada por possuir uma base de informações robusta. Ao analisar as bases de dados da cidade, os autores concluem que a disseminação da tecnologia de compartilhamento de dados que fomenta a participação dos cidadãos tem grande impacto na formação e manutenção de ecossistemas de informações abertas. Os autores concluem que tais tecnologias, conhecidas como cívicas, quando utilizadas de forma bidirecional (cidadãos e governo), se tornam ferramentas extremamente úteis para a elaboração e o aperfeiçoamento do planejamento urbano em uma cidade inteligente.

Poslonec-Petri *et al.* (2016) elaboraram um mapa georreferenciado de ruído na cidade de Zagreb/Croácia que, desde 2012, participa de um projeto de pesquisa para coleta de dados interoperáveis para cidades inteligentes em plataforma aberta. Os pesquisadores aproveitaram a plataforma existente, que já é utilizada para coleta e compartilhamento de dados relacionados à otimização do consumo de energia na cidade e que também possibilita monitorar outras variáveis do ambiente urbano. O trabalho consistiu em elaborar um mapa dinâmico do ruído na cidade. Para consolidação dos dados os cidadãos tiveram papel fundamental, pois seus telefones celulares foram utilizados como sensores distribuídos pela cidade. Por meio destes aparelhos foi possível efetuar medições dos níveis de ruído com uso de um aplicativo desenvolvido para efetuar as medições e enviá-las à plataforma. Os resultados permitiram conhecer melhor as fontes de ruídos e a elaboração de um diagnóstico e de proposição de medidas mitigadoras de ruído.

Güney (2016) buscou avaliar os desafios na elaboração de modelos tridimensionais de cidades para o desenvolvimento de cidades mais inteligentes. Neste sentido sua pesquisa concluiu que ainda é necessário aprimorar as plataformas GIS existentes, para que seja possível uma abordagem mais completa e holística viabilizando a análise e o monitoramento de cidades inteligentes. Ainda assim, diversas pesquisas têm se empenhado na elaboração de modelos de cidades em bases GIS e obtido bons resultados.

Em contrapartida, Ramlee *et al.*, (2019) desenvolveu um projeto piloto de modelagem tridimensional de cidades por meio do software *WebGIS QGIS*. A pesquisa, apesar de se limitar a análise da área de um campus universitário, obteve bons resultados, indicando que os modelos tridimensionais são ferramentas confiáveis para gerenciar a consulta de dados espaciais e visualizar os atributos de edifícios, infraestrutura urbana e instalações.

Fernández Moniz *et al.* (2020) trabalharam na elaboração de uma solução baseada em software tipo GIS para uma gestão mais eficiente da infraestrutura urbana de abastecimento de água potável da cidade de Las Palmas/Espanha. O sistema foi totalmente desenvolvido em software de código aberto, de licença pública. O trabalho desenvolvido permitiu a elaboração de um modelo de dados específico, com funcionalidades que proporcionaram

à cidade monitorar e validar dados relacionados à rede de distribuição de água, além de simular a operação do sistema, bem como de acessar dados históricos relacionados a interrupção e cortes no abastecimento. O sistema adotado pela empresa responsável pelo abastecimento de água beneficiou a cidade como um todo, uma vez que possibilitou que o banco de dados com a documentação da rede estivesse acessível em formato intercambiável para empresas e órgãos públicos que possuem interface com a infraestrutura de água. Desta forma, os autores concluíram que o novo sistema de gestão e monitoramento contribuiu, dentro de seus objetivos, com o desenvolvimento sustentável de uma cidade inteligente.

O trabalho desenvolvido por Murshed *et al.* (2018) também apresenta uma ferramenta baseada em WebGIS, de código aberto, para visualização dinâmica de dados geoespaciais tridimensionais com o objetivo de melhorar a tomada de decisões na gestão de uma cidade inteligente. O modelo proposto permitiu a integração de diversos resultados de simulação geoespacial, permitindo assim que usuários de diferentes empresas e órgãos públicos possam utilizá-los de forma interativa e satisfatória em atividades de simulação e planejamento dos processos urbanos.

Já o trabalho desenvolvido por Casella *et al.* (2016) apresenta uma nova metodologia desenvolvida para cálculo automatizado de um índice que avalia o grau de permeabilidade do solo urbano. O índice estudado é um dos parâmetros urbanos que pode indicar, sob um ponto de vista específico, o quanto uma cidade é sustentável. A técnica atualmente utilizada é baseada na construção manual de mapas com uso de ortofotos existentes e imagens digitalizadas como suporte. Entretanto, trata-se de um método caro, demorado e sujeito a erros de interpretação. A nova técnica se baseia no uso da cartografia digital e na aplicação de técnicas de geoprocessamento, sendo, portanto, uma apuração automatizada e mais precisa. O cenário para a elaboração do estudo de caso foi a cidade de Pavia/Itália, onde foram realizados testes e a validação da metodologia desenvolvida, por comparação com 12 áreas de teste levantadas manualmente, as quais corresponderam a 5% das áreas edificadas do município.

Gorički *et al.* (2017) avaliaram atributos geométricos e semânticos de uma cidade e de suas edificações de forma a elaborar um modelo de cidade com foco em analisar o potencial de geração fotovoltaica urbana. O estudo contribuiu com a eficiência energética urbana e tem potencial para colaborar com a promoção da sustentabilidade de cidades inteligentes. A pesquisa trata da elaboração de uma análise do potencial solar de uma área piloto em Krapina/Croácia por meio do modelo digital de superfície e com base nos dados disponíveis no Serviço Meteorológico e Hidrológico da República da Croácia. Os autores concluíram que é viável a instalação de uma área média de 19,6m² de painéis solares por domicílio, o que poderia conferir a autossuficiência das necessidades energéticas das residências existentes na região analisada.

O trabalho desenvolvido por Persai e Katiyar (2018) consistiu em consolidar e analisar informações de infraestrutura urbana da cidade de Bophal/Índia. Foram analisados em uma plataforma do tipo WebGIS ativos que compõem redes de água, energia, telecomunicações, mobilidade, transporte, áreas verdes e segurança. A pesquisa identificou e classificou áreas prioritárias para serem consideradas no planejamento urbano. Foram realizadas análises geoestatísticas e atribuídos pesos a indicadores e parâmetros urbanos. Os resultados obtidos indicaram que vários parâmetros relacionados ao

planejamento de cidades inteligentes podem ser analisados de forma mais eficiente por meio da metodologia de priorização com uso de plataformas GIS.

Sejati *et al.* (2020) também ressaltaram a utilidade, confiabilidade e a praticidade na análise de parâmetros urbanos por meio do uso de plataformas e aplicações Web GIS. Os resultados da pesquisa indicaram que sistemas GIS podem ser utilizados especialmente para a elaboração de políticas de planejamento de uso e ocupação do solo urbano. De acordo com os pesquisadores, a consolidação de dados urbanos neste tipo de plataforma pode contribuir de forma relevante para o monitoramento do uso da terra com base no princípio da divulgação e transparéncia de informações no contexto de cidades inteligentes e governança inteligente. Normas para Gestão de Cidades.

3. Procedimentos metodológicos

O presente estudo busca, por meio da análise de dados urbanos, contribuir com o aprimoramento de políticas públicas urbanas. Para o desenvolvimento da pesquisa foi delineada metodologia para conversão e padronização de dados urbanos da cidade de Belo Horizonte, disponibilizados em diferentes formatos. Assim, para consolidar e comparar os parâmetros e indicadores, foi necessário calcular e inserir novos atributos aos arquivos tais como informações relacionadas a localização (regional administrativa), levantamento de áreas, agrupamento de pontos, padronização de unidades de medida e formatação de arquivos com alta densidade de dados. Após realizar o tratamento vetorial de dados, com sobreposição e interseção de camadas e atributos georreferenciados, os arquivos foram convertidos do formato vetorial para planilhas eletrônicas, o que viabilizou análises comparativas entre regiões da cidade e, posteriormente, a correlação entre indicadores e parâmetros urbanos disponibilizados pelo município (BHGEO, 2022; PMBH, 2021; PMBH; Milênio, 2020).

O estudo considerou 62 indicadores disponibilizados pela prefeitura na base de dados do observatório do Milênio (PMBH; Milênio, 2020). Tais indicadores foram regionalizados, uma vez que indicadores globais não permitiriam uma análise comparativa. Os dados foram organizados e consolidados com o uso do software QGIS. Posteriormente foi realizada a correlação entre parâmetros e indicadores com uso de software de edição de planilhas. Os parâmetros utilizados descrevem características da cidade, por bairros, tais como a existência de estruturas e serviços urbanos, restrições e/ou exigências urbanísticas, área urbanizada, ocupação de espaços ao longo dos anos, características de imóveis, dentre outros parâmetros. Para fins de organização e apresentação sintética, os parâmetros considerados foram agrupados, conforme apresentado no Quadro 01.

Quadro 1: Lista de grupos dos 194 parâmetros.

Item	Grupo de Parâmetros	Número de parâmetros
1	Coleta Resíduos	4
2	Infraestrutura Urbana	18
3	Infraestrutura de Educação e Saúde	8
4	Instalações de Serviço social	2
5	Infraestrutura de Seg. Pública	2

6	Infraestrutura de Esporte	1
7	Desenvolvimento Área Urbana	21
8	Uso e Ocupação do Solo	31
9	Atividade Econômica	12
10	População e Renda	17
11	Meio Ambiente	43
12	Mobilidade	35

Fonte: Elaborado pelos autores com base em BHGEO, 2022.

A título de exemplo e, para melhor entendimento da metodologia empregada no trabalho, apresenta-se, por meio da figura 01, a camada denominada “cadastro imobiliário” que disponibiliza diversos parâmetros urbanos relativo a cada imóvel existente na cidade.

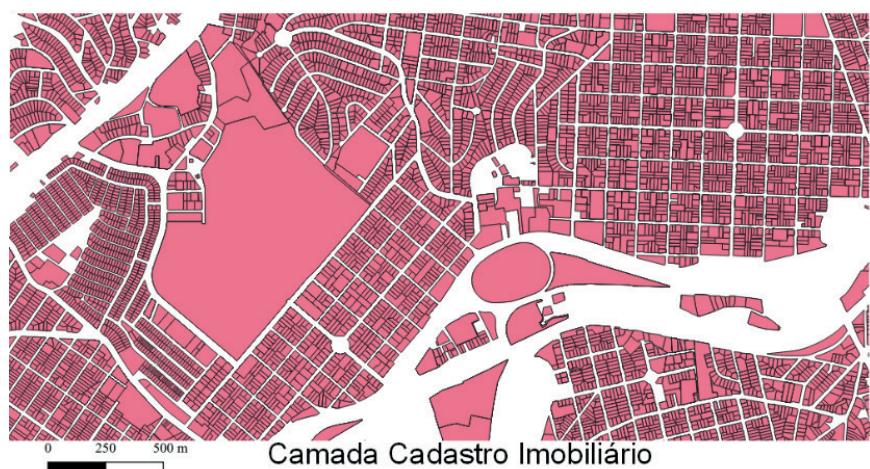


Figura 1: Camada Cadastro Imobiliário. Fonte: BHGEO (2022)

A sobreposição de camadas disponibilizou um modelo digital da cidade para a organização dos dados de forma espacial. Na referida camada os imóveis foram vetorizados individualmente pela prefeitura e, a cada um, foram inseridos atributos semânticos tais como área construída, área do terreno, tipo construtivo, padrão de acabamento, atendimento por serviços e infraestrutura, dentre outros. Para comparação entre as diferentes regiões da cidade, foi necessário tratar, agrupar e consolidar os parâmetros que são disponibilizados pela prefeitura por imóvel, para cada região da cidade.

A Tabela 01 apresenta, como exemplo, a consolidação de parte dos parâmetros urbanos relacionados a disponibilidade de infraestrutura pública por região da cidade. Cada linha foi considerada como um parâmetro urbano, dentre os 194 analisados, para posterior pesquisa de correlação com indicadores.

Tabela 01: Atendimento serviços e infraestrutura urbana.

Atendimento Infra / Serviços	BH	Bar- reiro	Centro Sul	Leste	Nor- deste	Noro- este	Norte	Oeste	Pam- pulha	Venda Nova
Pavimentação (unid.)	852658	63167	216438	66588	84540	80904	47397	121016	105166	67442
Galeria Drenagem Pluvial (unid.)	556903	32973	195864	34018	48893	46215	25085	77103	62766	33986
Iluminação Pública (unid.)	852139	63260	216433	66500	84421	80911	47459	120863	105064	67228
Rede de Esgoto (unid.)	826238	61617	213966	63654	80537	78966	45951	115883	101000	64664
Rede Água (unid.)	847229	63242	216370	65824	84091	80763	47096	118593	104303	66947
Rede Telefonia (unid.)	844416	62515	216142	65012	82649	80765	47179	118930	104354	66870

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de BHGEO, 2022.

Também como exemplo, é apresentada a Tabela 02, por meio da qual são apresentados alguns dos 62 indicadores consolidados e analisados para verificação de correlação frente aos parâmetros urbanos.

Tabela 021: Indicadores regionalizados – ODS

Indicador	Regionais									
	BH	Bar- reiro	Cen- tro Sul	Leste	Nor- deste	Noro- este	Norte	Oeste	Pam- pulha	Venda Nova
001-I04 (2021) Proporção de pessoas em pobreza extrema pré-transferência de renda (em %)	43,6	46,0	53,7	45,7	39,5	32,6	53,1	34,5	38,50	45,17
003-I04 (2021) Taxa de mortalidade na Infância - menores de 5 anos (por mil nascidos vivos)	10,6	11,4	12,8	11,6	11,9	12,3	11,6	7,6	12,74	9,07
003-I12 Taxa de incidência de dengue (por 100 mil habitantes)	214	262	96	391	293	163	229	115	145	254

Fonte: Elaborado pelos autores com dados de PMBH, 2021.

Com os parâmetros e indicadores organizados em tabelas com dados consolidados por região, foi construída uma matriz de correlação. Como resultado foi obtida uma grande matriz com os parâmetros listados em 192 colunas e os indicadores organizados em 62 linhas. Nessa matriz, cada interseção entre indicador e parâmetro apresenta um coeficiente de Pearson. A Tabela 03 abaixo demonstra a organização das informações na matriz.

Tabela 03: Matriz de correlação - Coeficientes de Pearson.

Parâmetros	Indicadores	IO1	IO2
		Proporção de pessoas em pobreza extrema pré-transferência de renda (em %)	Taxa de mortalidade na Infância - menores de 5 anos (por mil nascidos vivos)
P01	Pavimentação (unid. imov. atend.)	0,053	-0,080
P02	Arborização (unid. imov. atend.)	0,141	0,000
P03	Galeria Drenagem Pluvial (unid. imov. atend.)	0,107	-0,041
P04	Iluminação Pública (unid. imov. atend.)	0,053	0,080
P05	Rede de Esgoto (unid. imov. atend.)	0,056	0,077
P06	Rede Água (unid. imov. atend.)	0,054	-0,078
(..)			
P192	Rede Telefonia (unid. imov. atend.)	0,054	0,078

Fonte: Elaborado pelos autores.

O número de correlações fortes foi consolidado para cada indicador, tal como pode ser visto no Quadro 02, que apresenta, a título de exemplo para entendimento da metodologia, parte das 62 colunas referentes aos indicadores.

Quadro 02: Número de correlações fortes por indicador.

Correlações Indicadores	IO1	IO2
	Proporção de pessoas em pobreza extrema pré-transferência de renda (em %)	Taxa de mortalidade na Infância - menores de 5 anos (por mil nascidos vivos)
Número de correlações positivas fortes ($P>0,8$)	6	3
Número de correlações Negativas fortes ($P>0,8$)	1	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a consolidação do número de correlações fortes, foram identificados os parâmetros mais influentes. Estes parâmetros foram analisados com foco em formular hipóteses que expliquem sua maior influência frente ao desempenho de um maior número de indicadores. Ao final das análises, foi possível concluir quais parâmetros exercem influência relevante no desempenho do maior número de indicadores urbanos sendo, possivelmente, os que possuem maior potencial no desenvolvimento de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

3.1 Correlação entre variáveis

A Correlação entre duas variáveis expressa a associação entre elas. O Coeficiente de correlação populacional de Pearson, entre duas variáveis aleatórias, mede o grau com que estas se associam linearmente, bem como se essa associação é positiva ou negativa (Devore, 2010). Dadas as variáveis aleatórias X e Y com valores médios μ_x e μ_y e desvios padrão σ_x e σ_y , superiores a zero, o coeficiente de correlação de Pearson ρ , pode ser calculado por meio da Equação 1.

(Equação 1)

$$\hat{\rho} = R = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Os valores de correlação de Pearson estão no intervalo $-1 \leq R \leq 1$. Quanto mais próximos de 1, ou de -1, mais forte será a correlação entre as variáveis. Neste sentido, as correlações fortes podem ser positivas ou negativas. Entretanto, um valor de R próximo de 0 sugere que não há uma relação linear entre as variáveis. Uma correlação positiva ocorre quando o aumento de uma variável está associado ao aumento de outra. Já uma correlação negativa acontece quando o aumento de uma variável leva à diminuição de outra. Uma correlação com $R \leq 0,5$ é considerada fraca, visto que em uma regressão de y sobre x tem-se que $R^2 = 0,25$, ou seja, apenas 25% da variação y seria explicada pelo modelo. Assim, um fator com valor compreendido no intervalo $0,5 \leq R \leq 0,8$ pode ser associado a uma correlação de força moderada e valores de $R \geq 0,8$ representam uma correlação forte. Para o presente trabalho foi adotado como referência, para identificar a força de uma correlação, os valores de $R \geq 0,8$, tal como sugerido por Devore (2010).

4. Organização dos parâmetros e indicadores

Ao estudar os parâmetros e indicadores urbanos de Belo Horizonte, percebe-se que a análise destes dados, de forma visual, demandaria muito tempo e trabalho minucioso para reconhecimento de padrões, sendo também necessário o uso de computadores e softwares específicos para uma observação interativa. Tal tipo de estudo poderia, ainda, ser suscetível a análises que possuam determinado viés por parte do observador. Assim, o cálculo do fator de correlação entre variáveis permitiu a realização de análises comparativas entre regiões da cidade.

Os 62 indicadores foram agrupados por Objetivo de Desenvolvimento Sustentável, conforme apresenta o Quadro 03.

Quadro 03: Indicadores por Objetivo de Desenvolvimento Sustentável.

ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável	Número de Indicadores
M-ODS	Índice de Qualidade de Vida Urbana - IQVU	1
ODS-01	Erradicação da Pobreza	5
ODS-02	Fome Zero	2
ODS-03	Saúde e Bem Estar	13

ODS-04	Educação de Qualidade	5
ODS-05	Igualdade de Gênero	3
ODS-06	Água Potável e Saneamento	5
ODS-07	Energia Limpa e Acessível	2
ODS-08	Trabalho Decente e Crescimento Econômico	1
ODS-09	Indústria, Inovação e Infraestrutura	1
ODS-10	Redução das Desigualdades	1
ODS-11	Cidades e Comunidades Sustentáveis	17
ODS-12	Consumo e Produção Responsáveis	1
ODS-14	Vida na Água	1
ODS-15	Vida Terrestre	2
ODS-16	Paz, Justiça e Instituições Eficazes	2
ODS-17	Parcerias e Meios de Implementação	0

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em dados de PMBH, 2021.

Os parâmetros e indicadores foram lançados em uma planilha para cálculo dos índices de correlação entre cada uma das variáveis. Para análise de correlação, os parâmetros e indicadores foram organizados e regionalizados, conforme pode ser visto no exemplo apresentado na Tabela 04.

Tabela 04: Exemplo de organização dos indicadores e parâmetros para cálculo do fator de correlação.

Regional	Indicador	Parâmetro
	População atendida por coleta seletiva porta a porta ou ponto a ponto (%)	Altura média das edificações (m)
BH	21,86	5,27
Barreiro	5,44	3,40
Centro Sul	82,57	9,57
Leste	5,17	5,38
Nordeste	12,21	5,20
Noroeste	3,52	5,08
Norte	3,33	4,68
Oeste	37,72	5,86
Pampulha	33,14	5,26
Venda Nova	5,16	4,75

Fonte: Elaborado pelos autores.

5. Resultados

O cálculo da correlação entre os 62 indicadores e os 194 parâmetros urbanos foi feito de forma a verificar 12.028 coeficientes de correlação. Assim, foi possível identificar quantas correlações fortes ocorreram (coeficiente > 0,8, ou < -0,8) entre indicadores e parâmetros. Após esta análise, identificou-se que os parâmetros que obtiveram o maior número de correlações fortes com o resultado dos indicadores foram relacionados à presença de infraestrutura de rede de gás, atendimento por serviços de coleta de resíduos com maior frequência (diária), arborização, pontos de internet por wifi públicos, infraestrutura com unidades de atendimento hospitalar e ambulatorial, unidades de polícia, bem como a largura média dos logradouros.

5.1 Análise dos resultados

Ao analisar os parâmetros selecionados foi possível perceber que a cidade possui características heterogêneas relacionadas à infraestrutura, serviços, uso e ocupação do solo, demografia e renda. Ao observar, por exemplo, os parâmetros da região centro-sul de Belo Horizonte, é possível perceber que há um maior adensamento, renda e infraestrutura urbana disponível, quando comparada as demais regionais da cidade. Foi possível identificar que tais diferenças são refletidas em diversos outros parâmetros, como por exemplo na infraestrutura de mobilidade e serviços de transporte público.

Também foi possível perceber a prevalência de padrão de acabamento dos imóveis classificados pela prefeitura como luxuosos na área centro-sul, regional que possui 76% deste tipo de imóvel, bem como também responde por 54% dos imóveis com padrão de acabamento alto. Tal distribuição guarda coerência com os parâmetros de renda apurados no último censo do IBGE. Desta forma, os parâmetros relativos à renda, associados a outros de caráter econômico (como, por exemplo, a distribuição de empresas pelas regionais) e de uso/ocupação do solo (relativos à densidade populacional) parecem ser os que mais influenciam na configuração e nos indicadores da cidade.

Outro ponto que merece destaque é o melhor atendimento, ou seja, maior percentual de imóveis atendidos por serviços ainda não universalizados na cidade, mas existentes na regional Centro Sul. Dentre estes serviços destaca-se a coleta com frequência diária de resíduos sólidos que atende a 242.442 imóveis em toda a cidade, sendo que destes, 215.823 encontram-se nesta regional. Uma hipótese é que os imóveis desta regional produzam maior volume diário de resíduos, ou ainda que tal regional possua necessidades diferentes, tais como indicadores diferenciados por se tratar de área adensada ou com maior potencial comercial ou turístico, uma vez que detém atrações de interesse e imóveis históricos. Outra infraestrutura que também atende a regional Centro Sul de maneira diferenciada é a disponibilidade de fornecimento de gás natural.

De acordo com os dados analisados, a distribuição de gás por meio de gasodutos ainda é um serviço indisponível em 92% logradouros da cidade, por outro lado 36% de toda a infraestrutura disponível está localizada na regional Centro Sul. Uma hipótese para a priorização desta regional consiste em estudos de mercado que possam ter identificado maior potencial para consumo na região. Assim, considerando os demais dados da regional Centro Sul, tem-se que a maior renda está associada a melhor infraestrutura, visto que apenas a densidade populacional não é proporcional à maior disponibilidade de serviços e infraestrutura. Entretanto não é possível afirmar se há maiores investimentos por parte do poder público em regiões de renda

mais alta, ou se regiões nas quais há maior infraestrutura é mais procurada por famílias de maior renda. Por outro lado, é possível afirmar que a região centro-sul está contida na área planejada da cidade. Tal fato permite elencar a hipótese de que a ocupação ordenada, que ocorreu inicialmente na parte planejada da cidade, contribuiu para a consolidação de melhores condições de infraestrutura na região.

Já com relação a serviços e infraestrutura básicos (pavimentação, iluminação pública, água potável, esgoto sanitário, energia elétrica e telecomunicações) foi possível perceber que a cidade possui tratamento mais homogêneo entre as regionais, restando apenas pequenas lacunas pontuais. Entretanto, a análise não permite avaliar se o nível de qualidade no atendimento por este tipo de serviços e de infraestrutura apresenta variações entre regionais. Destaca-se também, que a regional centro-sul possui vias mais largas e arborizadas parâmetros que apresentaram correlações mais fortes e positivas com diversos indicadores.

Com relação aos riscos hidrogeológicos foi identificado que as regionais barreiro e norte, as mais afetadas pelos riscos de inundação, são também as que possuem maior extensão de cursos d'água em leito natural, ou seja, sem canalização. Entretanto, a maior extensão de cursos d'água em leito natural não pode ser diretamente associada a maior propensão a enchentes sem estudos mais aprofundados, visto que outras características específicas das bacias hidrográficas (tais como relevo, vazão, tipo de solo, dentre outros não estudados no presente trabalho) podem ser mais determinantes para maior propensão a inundações.

Ressalta-se também que a região centro-sul é a que possui maior área sujeita a riscos de escorregamento, o que pode ser relacionado a maior declividade média de seus logradouros, o que indica relevo mais acidentado. Assim, de uma maneira geral, ao realizar análises comparativas entre regionais, baseadas nos parâmetros selecionados, foi possível contextualizar melhor as especificidades da cidade, de forma a subsidiar a análise de correlação entre indicadores e parâmetros de forma setorizada.

5.2 Conclusões

Os estudos que se dedicam a conhecer melhor o ambiente urbano e o funcionamento das cidades são ferramentas importantes que podem contribuir e impactar positivamente a vida de grande parte das pessoas. Neste sentido, o levantamento georreferenciado da infraestrutura urbana é imprescindível para possibilitar a análise do desempenho e a efetividade de políticas públicas elaboradas pela administração das cidades.

Adicionalmente, evidenciou-se a grande importância e utilidade dos dados abertos. Espera-se que em um futuro próximo, com a disseminação contínua de tecnologias colaborativas e a consolidação do uso da rede de internet 5G, dados abertos, coletados em tempo real e em diversas partes do ambiente urbano, possam viabilizar a produção de mais conhecimento acerca da dinâmica das cidades. Além disso, tais dados poderão ser utilizados para a tomada de decisões e intervenções mais ágeis, assertivas e inteligentes por parte do poder público.

Destaca-se que o método utilizado para correlacionar parâmetros e indicadores, pode ser adaptado para uso em outras pesquisas. Assim, o trabalho também apresenta como contribuição a metodologia utilizada para tratamento de dados e correlação entre indicadores e parâmetros. Problemas

crônicos das grandes cidades como, por exemplo, aqueles relacionados a intensidade do tráfego de veículos, não apresentaram correlação forte com nenhum dos indicadores regionalizados disponíveis, possivelmente em função do recorte de dados utilizado.

Em síntese, o presente trabalho tem como uma das suas principais contribuições a metodologia e os procedimentos adotados para tratar e consolidar os dados provenientes de bases abertas e que são pouco exploradas pela administração pública, bem como pouco consultadas pela população. As diversas atividades e processos desenvolvidos no ambiente urbano geram grande quantidade de dados. Entretanto, é indispensável que, além de disponibilizados ao público, os dados sejam inteligíveis, interoperáveis e de fácil consulta, para que possam ser transformados em informações úteis. Desta forma, será possível promover uma maior participação da sociedade nas decisões da administração pública municipal, com foco na eficiência dos serviços e infraestrutura urbana, contribuindo com o desenvolvimento de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

Referências

- PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. BHGEO, 2022. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo>. Acesso em: 14 dez. 2022.
- CASELLA, V.; FRANZINI, M.; DE LOTTO, R. Geomatics for smart cities: Obtaining the urban planning baf index from existing digital maps. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 41, n. jul, p. 689—694, 2016.
- DEVORE, Jay L. **Probabilidade e Estatística para Engenharia e Ciências**. [s. l.]: Cengage Learning Edições Ltda, 2010.
- DOLD, Juergen; GROOPMAN, Jessica. The future of geospatial intelligence. **Geo-Spatial Information Science**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 151—162, 2017.
- FERNÁNDEZ MONIZ, Pablo et al. A GIS-based solution for urban water management. **Water International**, [s. l.], v. 45, n. 6, p. 660—677, 2020.
- FRAGA-LAMAS, Paula; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M.; CASTEDO, Luis. Towards the internet of smart trains: A review on industrial IoT-connected railways. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 17, n. 6, 2017.
- GORIČKI, M. et al. Analysis of solar potential of roofs based on digital surface model. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 42, n. 4W3, p. 37—41, 2017.
- GUIMAR, Carlos Alberto; SZPIZ, Helga. IBGE estima população do país em 211,8 milhões de habitantes. **Agência de Notícias | IBGE**, [s. l.], v. 1410, p. 6—11, 2020.
- GUNEY, C. Rethinking GIS towards the vision of smart cities through CityGML. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 42, n. 2W1, p. 121—129, 2016.
- HÄMÄLÄINEN, Mervi. A Framework for a Smart City Design: Digital Transformation in the Helsinki Smart City. **Contributions to Management Science**, [s. l.], n. September 2019, p. 63—86, 2020.
- KANKALA, Kari et al. Smart city actions to support sustainable city development. **Techne**, [s. l.], v. SpecialSer, n. 01, p. 108—114, 2018.
- MOUSAVI, Mirrasoul J.; MCGRAIL, Tony; VARADAN, Siri. Monitoring and diagnostics. **Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions, Second Edition**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 385—395, 2017.
- MURSHED, Syed Monjur et al. Design and implementation of a 4D web application for analytical visualization of smart city applications. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 7, n. 7, 2018.
- PERSAI, Prashant; KATIYAR, Sunil Kumar. Development of Information Evaluation System for Smart City Planning Using Geoinformatics Techniques. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, [s. l.], v. 46, n. 11, p. 1881—1891, 2018.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Planejamento e Orçamento - Indicadores ODS.** Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/planejamento/planejamento-e-orcamento/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/indicadores-ods>. Acesso em: 25 jun. 2021.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Relatório de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável de Belo Horizonte 2020.** Belo Horizonte: Observatório do Milênio, 2020. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/relat_odsbh_2020.pdf.

POSLONEC-PETRI, V.; VUKOVI, V.; FRANGEŠ, S. VOLUNTARY NOISE MAPPING for SMART CITY. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 4W1, p. 131–137, 2016.

RAMLEE, S. S.S. et al. Towards 3D Smart Campus Via 3D City Modelling. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, [s. l.], v. 42, n. 4/W16, p. 523–526, 2019.

SEJATI, Anang Wahyu et al. Open-source web GIS framework in monitoring urban land use planning: Participatory solutions for developing countries. **Journal of Urban and Regional Analysis**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 19–34, 2020.

STADLER, Reinhold Lehel. Icts As a Tool To Increase the Attractiveness of Public Spaces / Ikt Kaip Viešujų Erdvių Patrauklumo Didinimo Priemonė. **Mokslas - Lietuvos ateitis**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 216–228, 2013.

TRAVIS, Charles. GeoHumanities, GIScience and Smart City Lifeworld approaches to geography and the new human condition. **Global and Planetary Change**, [s. l.], v. 156, p. 147–154, 2017.

VANOLO, Alberto. Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy. **Urban Studies**, [s. l.], v. 51, n. 5, p. 883–898, 2014.

WILSON, Bev; CHAKRABORTY, Arnab. Planning Smart(er) Cities: The Promise of Civic Technology. **Journal of Urban Technology**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 29–51, 2019.

YIGITCANLAR, Tan; KAMRUZZAMAN, Md. Does smart city policy lead to sustainability of cities?. **Land Use Policy**, [s. l.], v. 73, 2017, p. 49–58, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.034>.

ZANELLA, Andrea et al. Internet of things for smart cities. **IEEE Internet of Things Journal**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014.