City Information Modeling (CIM): aplicações, dados de entrada e resultados gerados

City Information Modeling (CIM): applications, input data, and generated results

Gabrielly de Oliveira Soares Pereira
Universidade Federal da Paraíba| João Pessoa | Brasil | gabrielly.pereira@academico.ufpb.br
Luara Lopes de Araujo Fernandes
Universidade Federal da Paraíba| João Pessoa | Brasil | luara.fernandes@academico.ufpb.br
Hidelbrando José Farkat Diogenes
Universidade Federal da Paraíba| João Pessoa | Brasil | hjfd@academico.ufpb.br

Resumo

Diante da crescente demanda por integração de informações urbanas, o City Information Modeling (CIM) tem ganhado destaque como abordagem para representação, análise e gestão do ambiente urbano. Apesar do avanço recente da área, ainda há grande heterogeneidade na descrição dos fluxos de dados e formatos de arquivo. Este artigo visa apresentar um panorama das aplicações de CIM, com foco na identificação dos dados de entrada, dos formatos de arquivo adotados e dos resultados gerados. A estratégia de pesquisa utilizada foi a Revisão Sistemática da Literatura, com aplicação do protocolo PRISMA. As buscas foram realizadas nas bases Scopus, Web of Science, IEEE Xplore e ScienceDirect e, após triagem e leitura completa, definiu-se uma amostra final de 68 artigos. Os resultados indicam crescimento recente da produção científica, com maior concentração de estudos a partir de 2021. Predominaram aplicações voltadas a gêmeo digital urbano e interoperabilidade, com destaque para dados geoespaciais, modelos BIM, imagens, LiDAR, nuvens de pontos e sensores como entradas e visualizações, indicadores e modelos digitais como principais saídas.

Palavras-chave: CIM. Interoperabilidade. Digitalização Urbana. BIM. SIG.

Abstract

Faced with growing demand for urban information integration, City Information Modeling (CIM) has gained prominence as an approach for the representation, analysis, and management of the urban environment. Despite recent advances in the field, there remains considerable heterogeneity in the description of data workflows and file formats. Therefore, this paper aims to present an overview of CIM applications, focusing on the identification of input data, adopted file formats, and generated results. The research strategy adopted was a Systematic Literature Review following the PRISMA protocol. Searches were conducted in the Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, and ScienceDirect databases, and after screening and full-text reading, a final sample of 68 articles was defined. Results indicate recent growth in scientific production, with higher concentration of studies from 2021 onward. Applications focused on urban digital twins and interoperability predominated, highlighting geospatial data, BIM models, images, LiDAR, point clouds and sensors as inputs, and visualizations, indicators and digital models as the main outputs.

Keywords: CIM. Interoperability. Urban Digitization. BIM. SIG.

Como citar:

PEREIRA et al, City Information Modeling (CIM): aplicações, dados de entrada e resultados gerados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado impõe demandas crescentes à gestão das cidades. No Brasil, 87,4% da população já reside em áreas urbanas [70], contexto que exige sistemas integrados de planejamento e gestão de ativos do ambiente construído urbano. O City Information Modeling (CIM) tem sido associado a diferentes potencialidades, como apoio ao planejamento urbano sustentável, avaliação de impactos ambientais, gestão do ciclo de vida de edifícios e infraestrutura e uso de dados urbanos para análises e simulações [74].

Apesar dessas possibilidades, ainda não há um conceito consolidado de CIM na literatura, sendo o termo compreendido de formas distintas, como integração Modelagem da Informação da Construção com Sistema de Informação Geográfica (BIM-SIG), evolução do SIG 3D ou ecossistema que incorpora Internet das Coisas (IoT) e outras tecnologias digitais, como também GEOBIM, nos quais modelos BIM e informações geoespaciais são articulados para favorecer interoperabilidade, representação geométrica, semântica e georreferenciamento em escala urbana [72,73]. Faltam, entretanto, estudos que apresentem, de forma estruturada, quais dados alimentam as aplicações de CIM, quais formatos são utilizados e quais resultados são gerados [69].

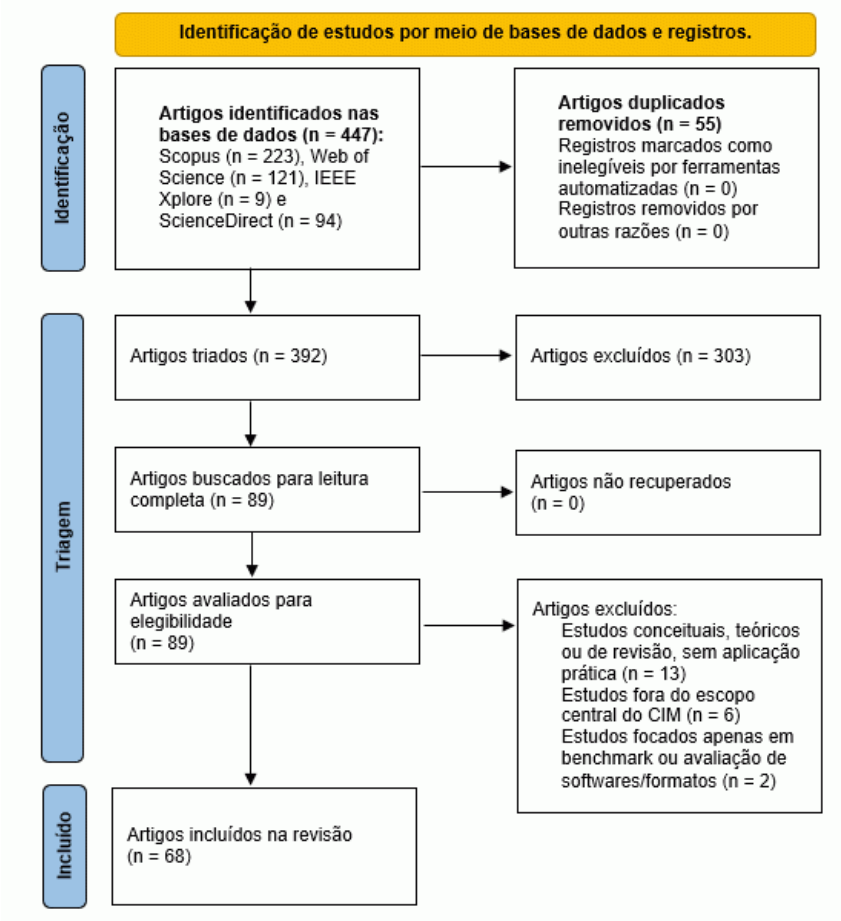
Essa pluralidade conceitual evidencia a necessidade de maior sistematização das iniciativas existentes e de melhor definição das potencialidades e lacunas do campo. Diante dessa lacuna, este artigo visa apresentar um panorama das aplicações de CIM, com foco na identificação dos dados de entrada, dos formatos de arquivo adotados e dos resultados gerados, de modo a contribuir para a estruturação do conhecimento sobre seus fluxos informacionais.

MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão sistemática da literatura, mas o recorte apresentado neste artigo compacto será baseado e estruturado como análise bibliométrica com busca estruturada, com foco na identificação de dados de entradas, resultados obtidos e aplicações no contexto do City Information Modeling (CIM). Nesse contexto, o artigo busca responder quais aplicações CIM, bem como quais dados de entrada, formatos de arquivo e resultados gerados, são mais recorrentes e usuais na literatura.

O processo de condução seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA [73], conforme descrito no delineamento da pesquisa (Figura 1). A estratégia adotada buscou identificar publicações sobre o tema em bases científicas de abrangência internacional, a fim de mapear a recorrência e a tendência nos estudos. Conforme o método Prisma, na fase de identificação foram realizadas as buscas nas bases Scopus, Web of Science, IEEE Xplore e ScienceDirect, considerando publicações disponíveis até 30 de agosto de 2025. A escolha dessas bases se justifica por sua relevância na indexação de estudos interdisciplinares relacionados à tecnologia, ao ambiente construído e à modelagem da informação.

Figura 1: Delineamento da metodologia aplicada conforme protocolo Prisma [73].



Fonte: o autor

Para a realização das buscas, foram definidos termos relacionados ao CIM e às diferentes denominações associadas a ferramentas, aplicações e soluções tecnológicas voltadas à digitalização das informações urbanas. Assim, foram combinados termos centrais, como “City Information Modeling”, “Urban Digital Twin” e “GeoBIM”, utilizando o operador booleano OR, a fim de ampliar a cobertura da literatura sobre modelos digitais urbanos. Em seguida, esses termos foram associados, por meio do operador booleano AND, a expressões relacionadas a ferramentas e aplicações, como “Tool”, “Application” e “Platform”, também combinadas entre si pelo operador OR. Essa estratégia permitiu delimitar um recorte da literatura voltado à identificação dos dados de entrada, dos resultados gerados e das aplicações vinculadas ao contexto do CIM. A String principal utilizada nas bases Scopus, Web of Science e IEEE Xplore está apresentada na Figura 2.

Figura 2: Strings para a base Scopus, Web of Science e IEE Xplore.

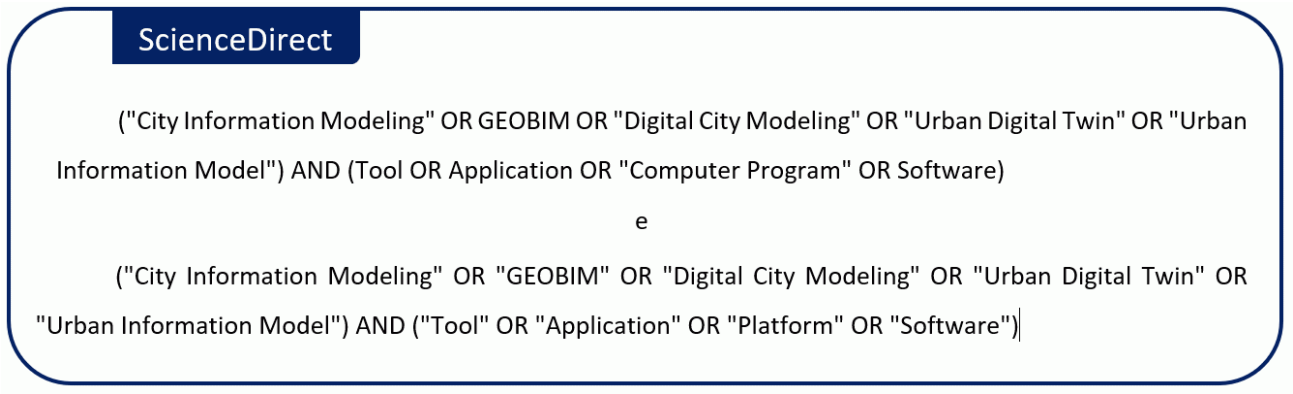
Scopus, Web of Science e IEE Xplore

("City Information Modeling" OR "GEOBIM" OR "Smart City Modeling" OR "Digital City Modeling" OR "Urban Digital Twin" OR "Urban Information Model") AND ("Tool" OR "Application" OR "Platform" OR "System" OR "Device" OR "Framework" OR "Computer Program" OR "Software")

Fonte: o autor.

Para a base ScienceDirect, foram realizados ajustes na estratégia de busca em função das especificidades da plataforma, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Strings para a base ScienceDirect.



Fonte: o autor.

A busca inicial resultou em 447 artigos, sendo 223 registros na Scopus, 121 na Web of Science, 9 na IEEE Xplore e 94 na ScienceDirect em busca refinada por títulos, palavras-chave e resumos. Para a triagem preliminar, utilizou-se o programa Zotero para a organização sistemática e a exclusão de artigos duplicados. Assim, foram removidos 54 artigos duplicados, resultando em 393 artigos publicados entre 2014 e 2025.

Já na etapa de triagem, conforme apresentado na Figura 1, para os critérios de inclusão, foram priorizados os estudos que explicitavam, no título, resumo e palavras-chave, e apresentavam referência a dados de entrada utilizados e aos resultados práticos obtidos, de modo a permitir maior objetividade na identificação das soluções tecnológicas abordadas. Logo após a aplicação dos critérios de inclusão e da triagem inicial, 89 artigos foram selecionados para leitura completa.

Para a composição da amostra final, foram considerados tanto os estudos que explicitavam nominalmente os formatos de arquivo empregados quanto aqueles que, embora não informassem o formato correspondente, descreviam de maneira clara o tipo de dado utilizado como entrada ou gerado como saída. Essa decisão metodológica foi adotada porque a ausência de explicitação dos formatos não inviabiliza a identificação das aplicações analisadas, mas constitui, em si, um aspecto relevante da área investigada. Assim, além de ampliar a compreensão dos fluxos informacionais presentes nas aplicações CIM, esse critério também permite evidenciar diferentes níveis de detalhamento metodológico nos estudos. Desse modo, a ausência de referenciamento explícito dos tipos de arquivo não foi tratada apenas como uma limitação de registro, mas também como um dado analítico da própria revisão, que evidencia a lacuna e aumenta a relevância desse estudo.

Após a leitura completa e a aplicação desse critério analítico, definiu-se uma amostra final de 68 artigos, os quais foram inicialmente sistematizados quanto às palavras-chave, às áreas temáticas, ao ano de publicação e ao país de origem. Nesse primeiro momento, a análise temática preliminar foi apoiada pelo software VOSviewer, utilizado para gerar a rede de relacionamento de termos com base nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos selecionados, após a exclusão de termos genéricos. A partir da seleção das palavras mais recorrentes, o software agrupa termos por similaridade, sendo cada conjunto destacado por uma mesma cor denominado “*cluster*”. Na sequência, a leitura completa dos estudos permitiu seu agrupamento segundo a finalidade principal das aplicações, os dados de

entrada, os formatos de arquivo explicitados, os resultados gerados e os formatos de saída, possibilitando uma análise quantitativa e interpretativa da amostra.

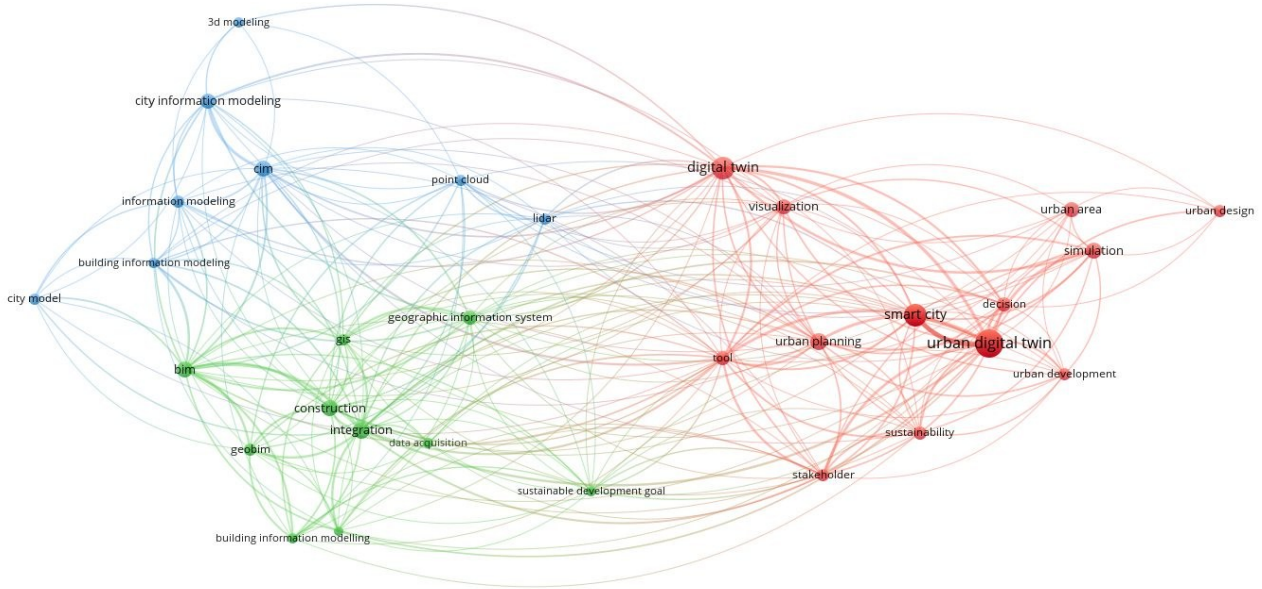
RESULTADOS

Os resultados a seguir derivam da leitura completa das 68 publicações selecionadas e são apresentados em quatro níveis de análise: a distribuição temática, temporal e geográfica da amostra; as categorias de aplicação do CIM identificadas; os tipos de dados de entrada utilizados; e os resultados e formatos de arquivo gerados. Essa organização permite avançar da caracterização geral do campo para a compreensão dos fluxos informacionais que sustentam cada tipo de aplicação.

DISTRIBUIÇÃO TEMÁTICA, TEMPORAL E GEOGRÁFICA

Através do mapa de relacionamento apresentado na Figura 4, é possível visualizar a frequência de ocorrência dos termos e as conexões estabelecidas entre eles no conjunto de estudos examinados.

Figura 4: Mapa de relacionamento de termos gerado no VOSviewer com base nos títulos, resumos e palavras-chave dos estudos analisados.



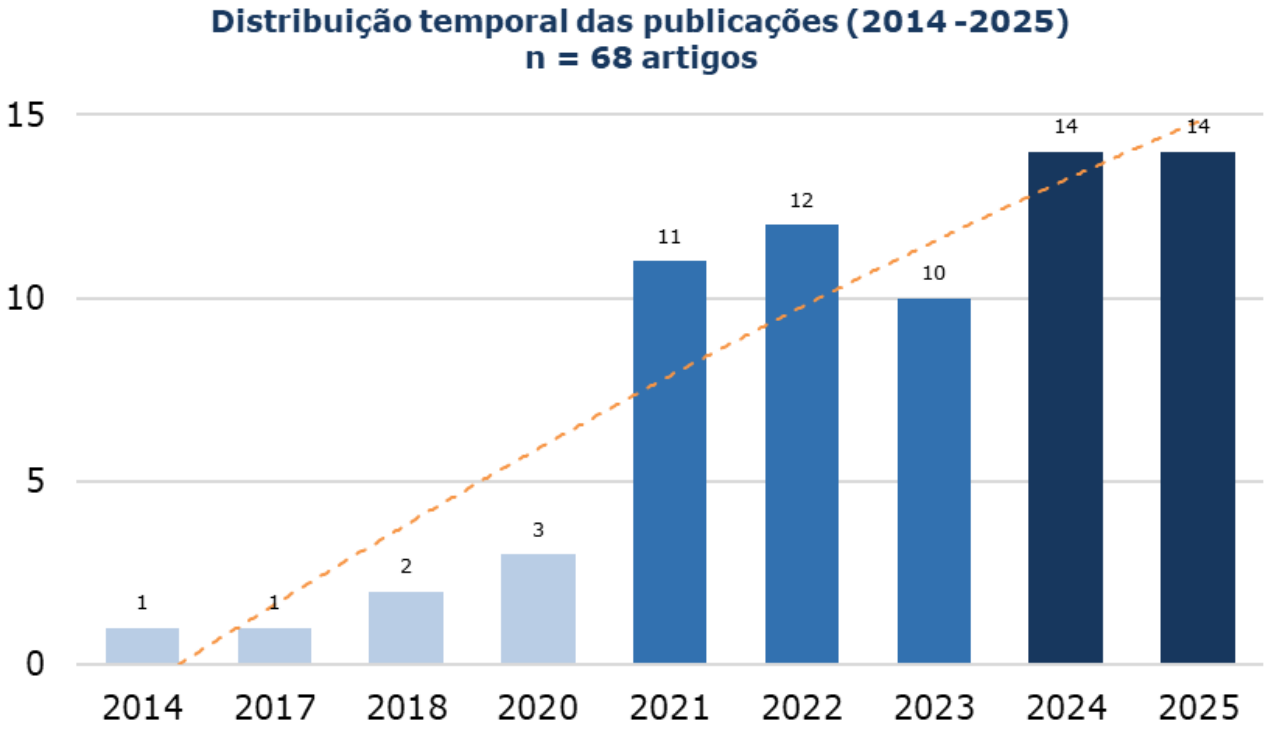
Fonte: o autor.

A configuração da rede apresentada evidencia que o CIM vem se desenvolvendo a partir de núcleos temáticos complementares. O cluster azul engloba termos mais associados à modelagem da informação urbana, com destaque para "*city information modeling*", "*CIM*", "*information modeling*" e "*city model*". O cluster verde concentra termos relacionados à integração geoespacial, como "*GIS*", "*GeoBIM*", "*geographic information system*", "*BIM*", "*building information modeling*" e "*integration*", indicando a relevância da articulação entre dados territoriais e modelos informacionais do ambiente construído. Por sua vez, o cluster vermelho reúne termos como "*urban digital twin*", "*digital twin*", "*smart city*", "*urban planning*" e "*simulation*", constituindo o agrupamento de maior densidade relacional na rede, com elevada concentração de palavras-chave conectadas entre si. Em conjunto, esses agrupamentos indicam que a área não se estrutura de forma homogênea, mas a partir de

frentes temáticas complementares, que articulam diferentes enfoques conceituais, técnicos e de aplicações.

Já para compreender a evolução da literatura ao longo do tempo, a Figura 5 apresenta a distribuição anual das publicações selecionadas sobre CIM no período de 2014 a 2025, onde tal período é delimitado através do processo de triagem de artigos que corresponde ao objetivo final deste artigo.

Figura 5: Distribuição temporal das publicações do ano de 2014 a 2025.



Fonte: o autor.

A análise temporal evidencia crescimento expressivo e acelerado da produção científica sobre CIM a partir do ano de 2021. Enquanto apenas quatro artigos foram identificados antes de 2020, os anos de 2024 e 2025 concentram, conjuntamente, 28 dos 68 artigos selecionados, sinalizando que a área atravessa um momento de consolidação e desenvolvimento ativo.

Complementarmente à análise temporal da produção, a Figura 6 apresenta a distribuição geográfica das 68 publicações selecionadas, permitindo visualizar a origem dos estudos a partir dos países de afiliação dos autores. Essa representação contribui para identificar a concentração espacial da produção científica sobre CIM e observar como o tema tem se distribuído em diferentes contextos nacionais.

Figura 6: Distribuição geográfica das publicações.



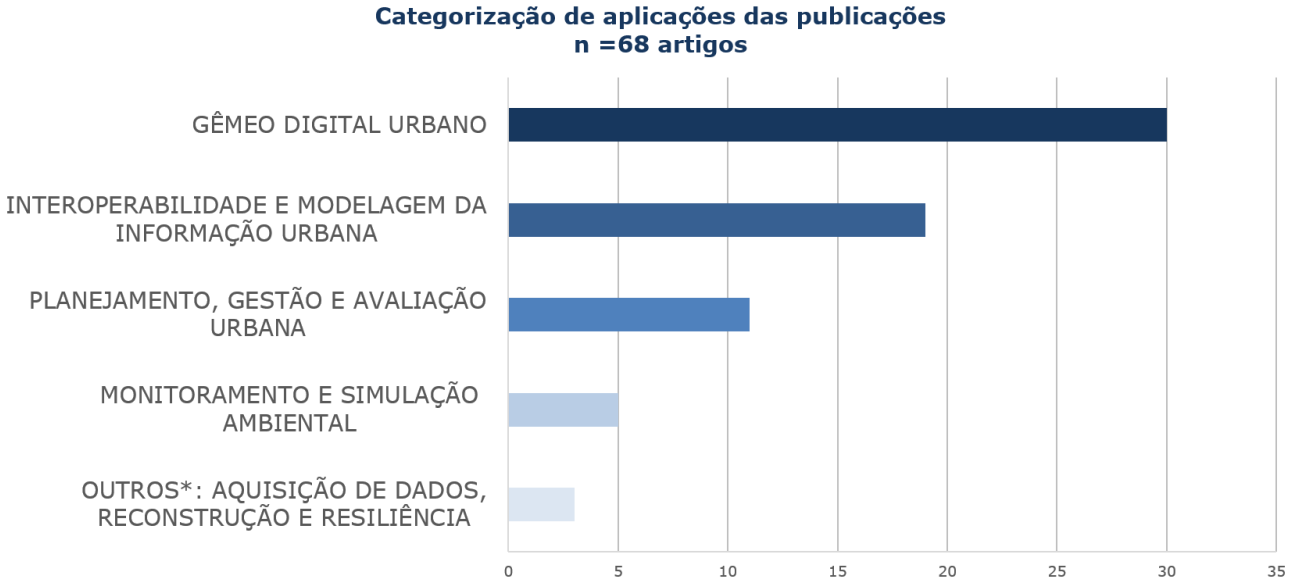
Fonte: o autor.

A distribuição geográfica das publicações apresentada na Figura 6 evidencia uma concentração mais expressiva da produção em determinados países, com destaque para a China, que se sobressai em relação aos demais, como também Estados Unidos, Itália e Austrália, além de ocorrências pontuais em outras regiões. O mapa reflete a maior densidade de estudos em regiões como Europa, Ásia Ocidental e América do Norte.

APLICAÇÕES CITY INFORMATION MODELING (CIM)

A análise das finalidades atribuídas aos estudos permite compreender como a literatura tem organizado e priorizado os principais focos de investigação em CIM. Para isso, os 68 artigos foram agrupados em cinco subáreas, definidas segundo o objetivo principal de cada publicação. O resultado dessa sistematização é apresentado na Figura 7, que mostra a distribuição das publicações segundo os principais eixos de aplicação identificados na literatura.

Figura 7: Categorização de aplicações das publicações



Fonte: o autor.

*Em razão da baixa frequência de determinadas categorias, optou-se por agrupá-las em uma única classe, denominada “Outros”, para representação no gráfico.

A distribuição por categoria indica predominância de estudos relacionados a gêmeo digital urbano, seguidos por interoperabilidade e modelagem da informação urbana, o que evidencia a força de abordagens ligadas à representação dinâmica e integrada do ambiente urbano. Em contraste, monitoramento e simulação ambiental e aquisição de dados, reconstrução e resiliência apresentam menor representatividade.

Esse padrão sugere que a literatura tem privilegiado os resultados finais das aplicações, sobretudo gêmeos digitais, mais do que o aprofundamento dos mecanismos que viabilizam a interoperabilidade entre dados, sistemas e modelos. Souza e Bueno (2022), em revisão sistemática de 80 artigos publicados entre 2010 e 2021, identificaram que o CIM é compreendido ora como ferramenta computacional, ora como integração GeoBIM, ora como base de dados urbanos para análise e simulação, sem consenso terminológico consolidado na literatura.

De modo geral, o gráfico revela uma distribuição desigual das aplicações, com concentração em frentes mais fortemente associadas à digitalização, integração e representação dinâmica do espaço urbano. Observa-se, ainda, que a maior frequência de estudos focados em gêmeos digitais urbanos, em comparação com os dedicados à interoperabilidade, sugere uma tendência da literatura a privilegiar os resultados finais das aplicações em vez de aprofundar os mecanismos que tornam possível a integração entre diferentes dados, sistemas e modelos.

Dessa forma, considerando a relevância dos fluxos informacionais para a compreensão das aplicações de CIM e para a sustentabilidade e evolução de todo o ecossistema de digitalização, buscou-se examinar, nos estudos selecionados, o nível de explicitação dos formatos de arquivo associados aos dados de entrada e de saída. Para isso, os artigos foram classificados de acordo com o grau de detalhamento com que esses elementos foram reportados, permitindo identificar desde os estudos que apresentam o fluxo completo até aqueles que apenas descrevem os dados qualitativamente, sem explicitar os formatos correspondentes. O resultado dessa sistematização é apresentado na Tabela 1.]

Tabela 1 – Classificação de explicitação de tipos de formatos nas publicações.

Classificação	Descrição	Nº de artigos	Freq. (%)	Artigos [n]
Formato de entrada e saída explicitados	Artigos que identificam com precisão tanto o formato do arquivo de entrada quanto o formato do arquivo de saída. Permitem rastreabilidade completa do fluxo de dados no estudo.	**28**	41.2%	[4]; [5]; [6]; [8]; [12]; [17]; [19]; [20]; [25]; [30]; [32]; [36]; [37]; [38]; [39]; [41]; [42]; [43]; [44]; [47]; [49]; [51]; [52]; [53]; [59]; [64]; [65]; [68]
Somente formato de entrada explicitado	Artigos que especificam o formato do dado utilizado como entrada, mas não descrevem o formato do produto gerado. Permitem análise dos insumos, mas limitam a comparação dos resultados.	**24**	35.3%	[9]; [10]; [11]; [18]; [21]; [22]; [23]; [27]; [28]; [29]; [31]; [34]; [35]; [40]; [45]; [48]; [50]; [55]; [56]; [57]; [60]; [61]; [63]; [66]
Somente formato de saída explicitado	Artigos que identificam o formato do resultado gerado, mas não especificam o formato do dado de entrada. Permitem análise dos outputs produzidos.	**4**	5.9%	[1]; [7]; [15]; [58]
Sem formato explicitado (dado descrito, formato ausente)	Artigos que descrevem qualitativamente os dados utilizados — tipo de dado, sensor ou base — mas não nomeiam nenhum formato de arquivo de entrada ou saída. Representam a lacuna de padronização metodológica do campo.	**12**	17.6%	[2]; [3]; [13]; [14]; [16]; [24]; [26]; [33]; [46]; [54]; [62]; [67]

Fonte: o autor.

Os resultados mostram que 28 artigos explicitam formatos de entrada e de saída, constituindo o grupo de maior detalhamento metodológico. Outros 24 informam apenas os formatos de entrada, 4 explicitam somente os formatos de saída e 12 descrevem os dados apenas de forma qualitativa, sem nomear os formatos utilizados. Esse quadro evidencia heterogeneidade na documentação dos fluxos informacionais. A ausência de referenciamento claro dos formatos revela também uma lacuna metodológica com implicações para a rastreabilidade, a interoperabilidade e a comparação entre estudos.

DADOS DE ENTRADA

A identificação dos dados de entrada é fundamental para compreender como a literatura sobre CIM estrutura os insumos informacionais necessários às suas aplicações. A Tabela 2 apresenta a frequência das categorias de dados de entrada identificadas nos 68 artigos analisados e evidencia a predominância de dados GIS/geoespaciais, com frequência de 34 artigos e 50,0%, seguida por dados tabulares e estruturados, com 25 artigos e 36,8%, e por modelos BIM e GIS semânticos, com 22 artigos e 32,4%. Frequências relevantes também foram observadas para imagens/fotogrametria, sensores IoT/tempo real e LiDAR/nuvem de pontos, o que indica que a literatura sobre *CIM* tem se apoiado em diferentes tipos de insumos informacionais.

Tabela 2 – Categorização dos dados de entrada das publicações.

Categoria	Exemplos de fontes/tipos	Nº de artigos	Freq. (%)	Artigos [n]
Dados GIS/Geoespaciais	Shapefiles, CityGML, GeoJSON, GeoTIFF, WMS/WFS, DEM/DTM, DXF, DWG, LandXML, redes	34	50.0%	[11]; [17]; [19]; [1]; [20]; [21]; [27]; [29]; [30]; [32]; [34]; [35]; [36]; [37]; [38]; [42]; [44]; [45]; [47]; [48]; [49]; [4]; [50]; [52];
Dados Tabulares/Estruturados	CSV, JSON, XML, TXT, Excel/XLSX, NetCDF, TMY (dados meteorológicos Meteonorm)	25	36.8%	[19]; [20]; [28]; [30]; [34]; [36]; [37]; [38]; [43]; [44]; [47]; [48]; [49]; [4]; [51]; [52]; [53]; [5]; [60]; [63]; [64]; [65]; [68]; [8]; [9]
Modelos BIM e GIS Semânticos	IFC, IFC-SPF, CityGML, CityJSON, RDF/OWL, ontologias urbanas BOT/GeoSPARQL	22	32.4%	[10]; [12]; [17]; [18]; [20]; [22]; [23]; [25]; [31]; [34]; [38]; [39]; [40]; [41]; [42]; [43]; [55]; [57]; [59]; [5]; [6]; [9]
Imagens/Fotogrametria	JPEG, PNG, TIFF, IES (fotometria), imagens aéreas oblíquas de drone, panoramas Mapillary,	21	30.9%	[11]; [2]; [30]; [32]; [33]; [34]; [35]; [37]; [43]; [44]; [45]; [47]; [48]; [50]; [51]; [53]; [54]; [56]; [64]; [67]; [9]
Sensores IoT/Tempo Real	NGSI-LD, JSON-LD, B3DM/XDO (VWorld), dados SCADA/Modbus, streams de CCTV e sensores	20	29.4%	[13]; [14]; [16]; [17]; [1]; [24]; [27]; [28]; [2]; [34]; [45]; [54]; [55]; [57]; [58]; [60]; [64]; [65]; [7]; [8]
LiDAR/Nuvem de Pontos	LAS, LAZ, PLY, XYZ, PTS, RCP , varredura terrestre (TLS) e aérea (UAV)	15	22.1%	[11]; [17]; [1]; [26]; [34]; [41]; [47]; [51]; [53]; [54]; [56]; [61]; [62]; [64]; [7]
Modelos 3D de Troca	OBJ, DAE, FBX, STL, modelos de edificações para simulação física (CFD, LBM)	3	4.4%	[24]; [50]; [66]

Fonte: o autor.

Como os artigos puderam ser contabilizados em mais de uma categoria, os resultados mostram que a maior parte da amostra mobiliza múltiplos tipos de dados de entrada, reforçando o caráter integrador e a articulação de diversas fontes de informação por meio da digitalização do ambiente urbano. Esse comportamento pode ser observado no artigo [34], presente em várias categorias simultaneamente, enquanto o artigo [10] aparece apenas em Modelos BIM e GIS semânticos, representando um caso de entrada mais concentrada.

Em conjunto, os resultados indicam que, embora existam estudos apoiados em conjuntos informacionais mais específicos, predomina na literatura o uso combinado de diferentes

fontes de dados. Ao mesmo tempo, a distribuição observada indica que nem todas as categorias de dados apresentam o mesmo grau de consolidação, destacando o papel dominante dos dados geoespaciais e dos modelos informacionais na sustentação das aplicações descritas nos estudos analisados.

A Tabela 3 apresenta os formatos de arquivo explicitamente nomeados nos estudos selecionados, articulando cada formato ao tipo de dado correspondente, à frequência de ocorrência e aos exemplos de uso reportados nos artigos. Entre os formatos de entrada explicitamente reportados, o IFC aparece com maior recorrência, seguido por Shapefile, CSV e CityGML, o que reforça a centralidade dos modelos BIM, dos dados vetoriais geoespaciais, das bases tabulares e dos modelos semânticos urbanos tridimensionais no desenvolvimento da área.

A combinação de formatos varia significativamente entre os estudos. Há casos de forte integração, como o artigo [34], que reúne IFC, CityGML, GeoTIFF e NetCDF, o artigo [49], que combina CSV, DWG, WMS/WFS e Excel/XLSX, e o artigo [64], que associa Shapefile, CSV, GeoTIFF, JPEG, LAS e TIFF. Em contraste, estudos como [10], identificado apenas com IFC, e [18], vinculado apenas a CityGML, mostram estruturas de entrada mais concentradas. Isso indica que, embora predomine o uso combinado de dados, parte da literatura ainda se apoia em conjuntos mais específicos de informação.

Tabela 3 – Formatos de dados de entrada explicitados nas publicações.

Formato	Tipo de dado associado	Nº de artigos	Freq.* (%)	Artigos [n]	Exemplos de uso no corpus
IFC	Industry Foundation Classes (ISO 16739)	17	32.7%	[5]; [6]; [10]; [12]; [20]; [22]; [23]; [25]; [31]; [34]; [38]; [39]; [40]; [42]; [55]; [57]; [59]	Integração GeoBIM, conversão IFC↔CityGML, georreferenciamento de modelos BIM, benchmarks de interoperabilidade
Shapefile	Dado vetorial GIS: polígonos, linhas e pontos (ESRI)	14	26.9%	[9]; [29]; [38]; [42]; [44]; [45]; [47]; [48]; [50]; [52]; [53]; [55]; [64]; [65]	Footprints de edificações, redes viárias, uso do solo, zoneamento, áreas de risco e dados cadastrais
CSV	Dados tabulares separados por vírgula	12	23.1%	[4]; [9]; [28]; [36]; [37]; [38]; [48]; [49]; [51]; [52]; [64]; [65]	Séries temporais de sensores, dados energéticos, matrizes O/D de mobilidade, inventários de edificações
CityGML	Modelo 3D semântico urbano (OGC)	12	23.1%	[6]; [12]; [17]; [18]; [22]; [23]; [25]; [34]; [40]; [41]; [43]; [57]	Modelos 3D de cidades (LoD 1–3), digital twins urbanos, integração BIM-GIS e benchmarks GeoBIM
GeoJSON	Dado vetorial geoespacial em JSON (RFC 7946)	8	15.4%	[30]; [36]; [37]; [44]; [47]; [49]; [52]; [68]	Footprints OSM, tipos de terreno, dados de acessibilidade, feições urbanas para APIs e plataformas web
DWG	Arquivo CAD nativo AutoCAD (Autodesk)	7	13.5%	[20]; [21]; [35]; [36]; [49]; [59]; [65]	Cartografia altimétrica, projetos de engenharia civil, dados de levantamento geotécnico e plantas de infraestrutura
GeoTIFF	Dado raster geoespacial georreferenciado	5	9.6%	[9]; [34]; [44]; [45]; [64]	DTM/DSM (5×5 m), ortomosaicos, imagens de satélite e dados de modelos digitais de terreno
JPEG	Imagem fotográfica com compressão (ISO/IEC 10918)	5	9.6%	[32]; [35]; [43]; [50]; [64]	Imagens de drone, fachadas, mapas batimétricos, imagens de rua (Mapillary) para fotogrametria e visão computacional
LAS	Nuvem de pontos LiDAR (ASPRS)	5	9.6%	[47]; [51]; [56]; [61]; [64]	Varredura terrestre (TLS) e aérea (UAV) de cidades, segmentação semântica de elementos urbanos
WMS/WFS	Serviços OGC de dados geoespaciais remotos	4	7.7%	[36]; [49]; [52]; [68]	Dados de geoportais municipais acessados remotamente como entrada de plataformas CIM via HTTP/XML
TIFF	Imagem raster de alta qualidade sem compressão destrutiva	4	7.7%	[43]; [50]; [53]; [64]	DTM, imagens multiespectrais de satélite, texturas de fotogrametria e dados de modelos solares
TXT	Arquivo de texto simples	4	7.7%	[47]; [51]; [60]; [64]	Nuvens de pontos simplificadas, parâmetros de controle de simulações e séries de medições de sensores
NetCDF	Dado científico matricial multidimensional (Unidata)	3	5.8%	[5]; [20]; [34]	Dados de subsolo geológico (GeoTOP/DINO), dados meteorológicos e dados de sensoriamento ambiental
DXF	Arquivo de intercâmbio CAD (Autodesk)	3	5.8%	[17]; [20]; [21]	Modelos de edificações e vias para digital twins, dados geotécnicos e projetos de infraestrutura urbana
RDF/OWL	Dado semântico em grafo de conhecimento (W3C)	2	3.8%	[6]; [12]	Ontologias urbanas (BOT, GeoSPARQL, IfcOWL), alinhamento semântico BIM-UIM, Linked Open Data urbano
Excel/XLSX	Planilha Office Open XML (ISO/IEC 29500)	2	3.8%	[9]; [20]	Dados energéticos e socioeconômicos de edificações, inventários de zonas climáticas e dados de levantamento
OSM	OpenStreetMap XML — dado vetorial colaborativo	2	3.8%	[11]; [50]	Redes viárias para simulação (SUMO netconvert), modelos de edificações 3D e footprints de cidades
PLY	Formato de nuvem de pontos e malhas 3D (Stanford)	2	3.8%	[56]; [61]	Nuvens de pontos de fotogrametria e TLS para segmentação geométrica de vegetação e edificações

Fonte: o autor.

RESULTADOS GERADOS

A Tabela 4 sistematiza os principais resultados gerados que foram identificados na amostra analisada, organizando-os em categorias analíticas mais amplas e apresentando sua frequência, os estudos em que aparecem e exemplos de uso reportados.

Tabela 4 - Categorização dos dados de saída das publicações.

Tipo de Resultado	Descrição	Nº de artigos	Freq. (%)	Artigos [n]
Visualizações e Dashboards	Interfaces web 3D (Cesium.js, Three.js, Unity), painéis interativos, AR/VR urbano, mapas de calor, visualizações em tempo real de sensores IoT	50	73.5%	[10]; [11]; [12]; [13]; [14]; [15]; [16]; [17]; [18]; [19]; [1]; [21]; [22]; [23]; [24]; [25]; [27]; [28]; [2]; [30]; [31]; [34]; [35]; [36]; [37]; [38]; [3]; [40]; [41]; [43]; [44]; [45]; [46]; [48]; [52]; [53]; [54]; [55]; [57]; [58]; [5]; [60]; [63]; [64]; [65]; [67]; [68]; [6]; [7]; [9]
Análises/Relatórios/BD	Relatórios qualitativos e quantitativos, análises estatísticas, bancos de dados espaciais (PostGIS, SQL), datasets abertos (CSV, JSON, RDF)	30	44.1%	[13]; [15]; [16]; [18]; [19]; [1]; [21]; [2]; [30]; [31]; [34]; [36]; [37]; [38]; [39]; [40]; [43]; [44]; [47]; [49]; [51]; [52]; [53]; [58]; [59]; [63]; [65]; [67]; [68]; [9]
Indicadores e Métricas	KPIs urbanos, métricas de precisão (RMSE, F1, mIoU), índices de sustentabilidade ODS, indicadores energéticos (PR, NMBE, CV-RMSE)	36	52.9%	[11]; [12]; [14]; [15]; [16]; [23]; [24]; [26]; [27]; [29]; [2]; [30]; [31]; [32]; [33]; [35]; [36]; [37]; [38]; [3]; [43]; [45]; [46]; [47]; [49]; [51]; [52]; [55]; [56]; [58]; [60]; [61]; [63]; [64]; [66]; [9]
Mapas Temáticos	Mapas de risco hídrico, intensidade sísmica, sombreamento solar, poluição luminosa, acessibilidade e uso do solo (GeoTIFF, Shapefile)	27	39.7%	[11]; [13]; [17]; [28]; [29]; [2]; [30]; [33]; [34]; [35]; [36]; [39]; [40]; [41]; [44]; [47]; [48]; [52]; [53]; [55]; [58]; [64]; [65]; [66]; [68]; [7]; [9]
Modelo Urbano 3D/Digital Twin	Modelos semânticos 3D em CityGML, glTF/GLB, 3DTiles, HDF5 e IFC enriquecidos com dados dinâmicos; gêmeos digitais integrados a IoT	23	33.8%	[10]; [17]; [19]; [1]; [20]; [26]; [32]; [35]; [38]; [39]; [41]; [42]; [43]; [44]; [45]; [47]; [57]; [59]; [5]; [61]; [65]; [67]; [7]
Frameworks e Ontologias	Propostas teóricas, ontologias publicadas (OWL/TTL), grafos RDF, arquiteturas de sistema, diagramas UML e ER Schema urbanos	10	14.7%	[12]; [14]; [22]; [25]; [37]; [3]; [40]; [42]; [58]; [6]
Modelos Preditivos/ML	Modelos de predição de consumo energético, detecção de falhas PV, segmentação semântica, classificação de edificações por redes neurais	13	19.1%	[14]; [15]; [17]; [29]; [32]; [33]; [37]; [39]; [41]; [42]; [4]; [52]; [63]
Simulação Urbana	Simulações de inundação (LBM/HEC-RAS), propagação sísmica, CFD de vento/poluição, tráfego (SUMO)	8	11.8%	[17]; [2]; [34]; [36]; [4]; [53]; [63]; [66]

Fonte: o autor.

No contexto da amostra analisada, Visualizações e Dashboards constituem a categoria mais recorrente, seguidas por Indicadores e Métricas e por Análises, Relatórios e Bancos de Dados. Com frequência também relevante aparecem Mapas Temáticos e Modelos Urbanos 3D/Digital Twin, indicando que a literatura articula produção do modelo digital e criação de interfaces para leitura, exploração e comunicação da informação urbana.

Essa distinção pode ser observada em artigos como [1] e [38], nos quais o resultado inclui tanto o modelo digital estruturado quanto dashboards, visualizações 3D e relatórios. Em contraste, trabalhos como [15] se aproximam mais de Visualizações e Dashboards, enquanto estudos como [31] se aproximam mais de Modelo Urbano 3D/Digital Twin. Assim, a literatura privilegia saídas voltadas à interpretação e comunicação da informação urbana, enquanto resultados mais especializados, como modelos preditivos, frameworks, ontologias e simulação aparecem com menor frequência.

Tabela 5 - Formato de dados de saída explicitados nas publicações.

Formato	Tipo de resultado	Nº de artigos	Freq. (%)	Artigos [n]	Exemplos de uso no corpus
CSV	Dados tabulares estruturados	10	31.2%	[30]; [36]; [47]; [49]; [51]; [52]; [53]; [58]; [65]; [68]	Indicadores de desempenho, séries temporais de sensores, resultados de análises de acessibilidade e mobilidade
JSON	Dado estruturado para APIs e aplicações web	5	15.6%	[1]; [15]; [44]; [52]; [58]	Dados semânticos de gêmeos digitais, resultados de KPIs, APIs de plataformas de cidades inteligentes
IFC	Modelo BIM georreferenciado ou enriquecido	5	15.6%	[5]; [20]; [43]; [59]; [65]	IFC com atributos geoespaciais (GeoBIM), resultado de conversões CityGML→IFC, modelos as-built georreferenciados
GeoJSON	Dado geoespacial vetorial baseado em JSON	4	12.5%	[1]; [30]; [52]; [68]	Mapas participativos georreferenciados, dados de mobilidade processados, resultados de análise de acessibilidade
CityGML	Modelo 3D semântico urbano (OGC)	4	12.5%	[17]; [39]; [41]; [42]	Resultado de conversões IFC→CityGML, modelos GeoBIM enriquecidos, modelos finais de gêmeos digitais urbanos
RDF	Dado semântico em grafo de conhecimento (W3C)	3	9.4%	[12]; [25]; [58]	Ontologias urbanas publicadas, alinhamentos BIM-UIM em RDF, datasets abertos de patrimônio cultural (ROCK)
RVT	Projeto Revit georreferenciado	3	9.4%	[49]; [51]; [65]	Modelos BIM enriquecidos como resultado de scan-to-BIM e integração CIM
OBJ	Malha 3D geométrica em texto simples (Wavefront)	2	6.2%	[5]; [64]	Modelos de edificações simplificados para visualização (IFC→OBJ) e cenas sísmicas
PostGIS	Banco de dados espacial PostgreSQL	2	6.2%	[19]; [38]	Dados GeoBIM integrados (BIM+GIS) em PostGIS para avaliação de condição de ativos
GeoTIFF	Raster georreferenciado	2	6.2%	[36]; [64]	Mapas de intensidade sísmica, danos urbanos pós-desastre e resultados de análise de sombreamento solar
SPARQL	Resultado de consulta semântica (W3C)	2	6.2%	[25]; [58]	Consultas sobre grafos BIM-UIM e datasets RDF de plataformas de patrimônio cultural
SQL	Banco de dados relacional	2	6.2%	[37]; [65]	Esquemas ERD/SQL da IMM-SDG11, dados integrados de sensores
glTF/GLB	Modelo 3D para visualização web em tempo real (Khronos)	2	6.2%	[1]; [7]	Modelo 3D urbano integrado na plataforma Snap4City e visualização 3D em Cesium
Shapefile	Dado vetorial GIS resultado de análise espacial	2	6.2%	[39]; [64]	Resultados de segmentação geoespacial e mapas de danos urbanos.
3DTiles	Streaming de dados 3D urbanos massivos (OGC)	1	3.1%	[32]	Resultado de reconhecimento de objetos em cenas geográficas para visualização em Cesium.js

Fonte: o autor.

A Tabela 5 sistematiza os principais formatos de arquivo identificados como resultados das aplicações descritas nos estudos selecionados, articulando cada formato ao tipo de resultado correspondente, à frequência de ocorrência no corpus e a exemplos de uso reportados nos artigos. Entre os formatos de saída, o CSV aparece com maior recorrência,

evidenciando a relevância dos dados tabulares estruturados como produto final das aplicações. Em seguida, destacam-se JSON e IFC, além de GeoJSON e CityGML, revelando que a literatura não se limita a outputs descritivos, mas produz resultados voltados à integração com APIs, ao enriquecimento semântico de modelos, à conversão entre padrões e à disponibilização de dados geoespaciais e urbanos em formatos interoperáveis. Nas frequências menores, observa-se variedade ainda mais ampla de formatos, como RDF, RVT, OBJ, PostGIS, GeoTIFF, SPARQL, SQL, glTF/GLB, Shapefile e 3DTiles. Isso indica que, embora alguns formatos concentrem maior recorrência, a literatura sobre CIM opera com uma infraestrutura de saída heterogênea, compatível com a diversidade de objetivos e aplicações presentes no corpus.

CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo sistematizar e classificar as aplicações, os dados de entrada e os resultados gerados nos estudos sobre CIM. Foram analisados 68 artigos selecionados por revisão sistemática com protocolo PRISMA, organizados em análises bibliométricas, mapas de coocorrência no VOSviewer e tabelas analíticas sobre aplicações, formatos de entrada e resultados gerados. Os resultados indicam expansão recente da área e concentração em determinados contextos, com destaque para a China e o crescimento de publicações a partir de 2020.

No plano temático, a literatura se organiza em torno da modelagem da informação urbana, da integração BIM-GIS/GeoBIM e dos gêmeos digitais urbanos, evidenciando que o CIM não constitui um campo homogêneo, mas um domínio em consolidação marcado pela convergência entre integração informacional, representação espacial e suporte à decisão.

Quanto às aplicações, predominam estudos de gêmeo digital urbano e interoperabilidade. Nos dados de entrada, destacam-se bases geoespaciais, modelos BIM e dados estruturados, complementados por imagens, fotogrametria, LiDAR, nuvens de pontos e sensores em tempo real. Os resultados gerados concentram-se em visualizações, dashboards, indicadores, relatórios, mapas temáticos e modelos urbanos tridimensionais.

A revisão também evidenciou heterogeneidade na explicitação dos fluxos informacionais: embora parte da literatura apresente formatos de entrada e saída de forma clara, muitos estudos os descrevem parcialmente ou não os explicitam, o que afeta reprodutibilidade, interoperabilidade e comparação entre aplicações. Em síntese, a literatura sobre CIM avança na integração de fontes de dados e na diversificação de aplicações, mas ainda demanda maior padronização na descrição técnica dos insumos e produtos informacionais. Na prática, este estudo contribui para orientar pesquisas e aplicações em CIM, ao indicar os dados mais utilizados, os resultados mais recorrentes e as lacunas ainda existentes na literatura.

Uma limitação do estudo está na ausência de detalhamento, em alguns artigos, sobre formatos de arquivo, etapas de conversão e relação direta entre dados de entrada e produtos gerados. Estudos futuros podem avançar na construção de matrizes por aplicação de CIM, cruzando usos específicos, como scan-to-BIM, gêmeos digitais urbanos e análises ambientais, com seus respectivos dados, formatos e saídas.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, todos os autores utilizaram o ChatGPT como apoio à organização, limpeza e tabulação dos dados, especialmente das informações referentes aos formatos de entrada e saída identificados nos estudos analisados, bem como à condensação dos registros, à revisão textual do manuscrito e à tradução do resumo para a língua inglesa. A interpretação, a validação, a categorização final dos dados e a análise dos resultados foram realizadas integralmente pelos autores. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

Devido à limitação de palavras e ao número de estudos analisados, as referências dos artigos 1 a 68 foram disponibilizadas em documento suplementar: https://drive.google.com/file/d/1zebmFMiYt2iHts0l-JmtO9L6WWFaQ6J/view?usp=sharing. As demais referências, utilizadas na introdução e no método, foram mantidas no corpo do artigo e numeradas em sequência.

[69] CHEN, S.; CHEN, G.; YUAN, Z.; ZHANG, F.; LI, J. The development and construction of city information modeling (CIM): a survey from data perspective. **Applied Sciences**, v. 15, n. 9, p. 4696, 2025. DOI: 10.3390/app15094696.

[70] IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: resultados do universo — características da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html.

[71] KETZLER, B.; NASERENTIN, V.; LATINO, F.; ZANGELIDIS, C.; THUVANDER, L.; LOGG, A. Digital twins for cities: a state of the art review. **Built Environment**, v. 46, n. 4, p. 547–573, 2020. DOI: 10.2148/benv.46.4.547.

[72] NOARDO, F. et al. Reference study of IFC software support: the GeoBIM benchmark 2019: Part I. **Transactions in GIS**, 2021. DOI: 10.1111/tgis.12709.

[73] PAGE, M. J.; McKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

[74] SOUZA, L.; BUENO, C. City information modelling as a support decision tool for planning and management of cities: a systematic literature review and bibliometric analysis. **Building and Environment**, v. 207, p. 108403, 2022. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108403.