Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]CITY INFORMATION MODELING: DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS PARA UMA GESTÃO URBANA INTELIGENTE

City Information Modeling: Developing processes for intelligent urban management

Iasmin de Sousa Jaime
UnB| Brasília, DF| iasmin.jaime@aluno.unb.br

Raquel Naves Blumenschein
UnB| Brasília, DF| blumen@unb.br

RESUMO

A rápida evolução dos sistemas de informação urbana e o crescimento das cidades, tornaram os ambientes urbanos extremamente complexos e as grandes quantidades de dados impactam diretamente na estrutura socioespacial dessas cidades. As mudanças emergentes da tecnologia oferecem uma quantidade de oportunidades, dentre elas o surgimento de novos paradigmas como o *City Information Modeling (CIM)*. Os Sistema de Informação Urbana são formas poderosas para gestão urbana, principalmente com o objetivo de traçar estratégias para enfrentar os desafios do planejamento urbano, através do estabelecimento de indicadores que permitam que as cidades alcancem o desenvolvimento sustentável, inteligente e resiliente. Este artigo apresenta resultados preliminares de uma pesquisa de doutorado desenvolvida através do método *Design Science Research,* que explora o desenvolvimento de uma estrutura conceitual de modelos CIM e discute soluções de aplicação destes modelos de informação para análise urbana e processos de gestão urbana inteligente. Os resultados apontam que diversos processos tecnológicos e inovadores estão sendo empregados na gestão urbana inteligente, sendo fundamental que o gerenciamento e análise de informações espaciais sejam realizados, e que os modelos devem estar associados a um conjunto de tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência artificial e *Building Information Modeling* para o desenvolvimento das cidades inteligentes.

Palavras-chave: *City Information Modeling*; Cidades Inteligentes; Sistema de Informação Urbana; *Building Information Modeling*.

ABSTRACT

The rapid evolution of urban information systems and the growth of cities have made urban environments extremely complex, and the large amounts of data have a direct impact on their socio-spatial structure. The emerging changes in technology offer a multitude of opportunities, including the emergence of new paradigms such as City Information Modeling (CIM). Urban Information Systems are powerful tools for urban management, particularly in devising strategies to address the challenges of urban planning through the establishment of indicators that enable cities to achieve sustainable, intelligent, and resilient development. This paper presents preliminary results from a doctoral research conducted using the Design Science Research method, which explores the development of a conceptual framework for CIM models and discusses the application of these information models for urban analysis and intelligent urban management processes. The results indicate that various technological and innovative processes are being employed in intelligent urban management, emphasizing the importance of spatial information management and analysis, and the association of models with a range of technologies such as the Internet of Things, Artificial Intelligence and Building Information Modeling for the development of smart cities.**Keywords:** City Information Modeling; Smart Cities; Urban Information System; Building Information Modeling.

[1]JAIME, I; BLUMENSCHEIN, R. *City Information Modeling*: Desenvolvimento de processos para uma gestão urbana inteligente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

1 INTRODUÇÃO

A rápida evolução das cidades e dos sistemas de informação urbana tem gerado um ambiente cada vez mais complexo, no qual grandes quantidades de dados impactam diretamente a estrutura socioespacial das cidades. Diante desse cenário, o surgimento de novos paradigmas, como o *City Information Modeling* (CIM), oferece uma série de oportunidades para gestão urbana, principalmente para enfrentar os desafios do planejamento urbano e estabelecer indicadores que permitam que as cidades alcancem o desenvolvimento sustentável, inteligente e resiliente. Nesse contexto, a combinação entre Sistemas de Informação Geográfica (SIG), *Building Information Modeling* (BIM) e Internet das Coisas (IoT) é fundamental para estabelecer dados espaciais e descritivos que possam ser utilizados para análise urbana e desenvolvimento de cidades inteligentes (*Smart Cities*).

Com o avanço da tecnologia, o setor de construção está passando por uma transformação significativa. O BIM é uma metodologia que está sendo utilizada em todo o ciclo de vida do edifício. O modelo BIM é uma ferramenta que pode coletar e armazenar dados estáticos e ter características visíveis, sensíveis, controláveis, gerenciáveis, simuladas e previsíveis. É amplamente aplicado no processo de construção e gestão de edifícios, pois permite a construção de um modelo de informação preciso, ajudando na tomada de decisões desde a concepção até o uso e operação (SUCCAR, 2009; SACKS *et al.*, 2021).

No entanto, o monitoramento de dados de séries temporais é uma limitação do BIM. Isso ocorre porque o modelo pode ser considerado uma ferramenta estática que não pode coletar dados em tempo real. Para compensar essa limitação, pesquisas estão sendo desenvolvidas e aplicam a Internet das Coisas (IoT), utilizando sensores e identificadores por radiofrequência (*Radio Frequency Identification*-RFID), para monitorar o microambiente e os componentes das edificações, e até mesmo dos elementos urbanos (ANSAH *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2020).

A IoT é uma rede de dispositivos interconectados que podem coletar e transmitir dados através dos sistemas de Internet. Isso significa que sensores e RFID podem coletar dados em tempo real como temperatura, umidade, consumo de energia, mobilidade urbana, reconhecimento de placas de veículos, monitoramento de vias e espaços públicos. Esses dados de monitoramento podem ser armazenados em plataformas BIM para apresentar e analisar os dados, como consumo de energia, por meio da fusão de dados e também pode ser usado para modificar o modelo por tecnologias como elementos finitos.

O SIG é aplicado na gestão de macroinformações, podendo ajudar na visualização das condições ambientais externas ao edifício e como elas afetam o desempenho da construção e dos espaços urbanos. Isso permite que os gestores tomem decisões informadas sobre a manutenção e a operação no campo da gestão das cidades e das edificações. Conseguir integrar os dados dentro de uma plataforma de informação é fundamental, principalmente pela possibilidade de fornecer uma rede colaborativa de serviços de informação (HUANG; SHIH; YEN, 2021).

Entretanto é necessário distanciar o conceito do CIM, apenas como a integração do BIM, SIG e IoT, principalmente nos termos de sua estrutura técnica e de funcionamento. Um modelo CIM também deve combinar um conjunto de outras tecnologias como a computação em nuvem, *Big Data*, Inteligência Artificial (IA), *Blockchain*, *Digital Twins* (Gêmeos Digitais), tecnologias geoespaciais dentre outras.

Os modelos BIM serão os portadores de informação dos edifícios presentes na cidade, e podem ser responsáveis pela construção de modelos relacionados à infraestrutura urbana. Estes modelos podem ser construídos com o objetivo de se tornarem gêmeos digitais, que são representações virtuais em tempo real de objetos, sistemas ou processos no mundo físico. O SIG e a IoT irão fornecer a interface dos dados urbanos existentes na cidade, que atualmente possuem várias fontes para a construção desses modelos e precisam ser estruturados para serem utilizados.

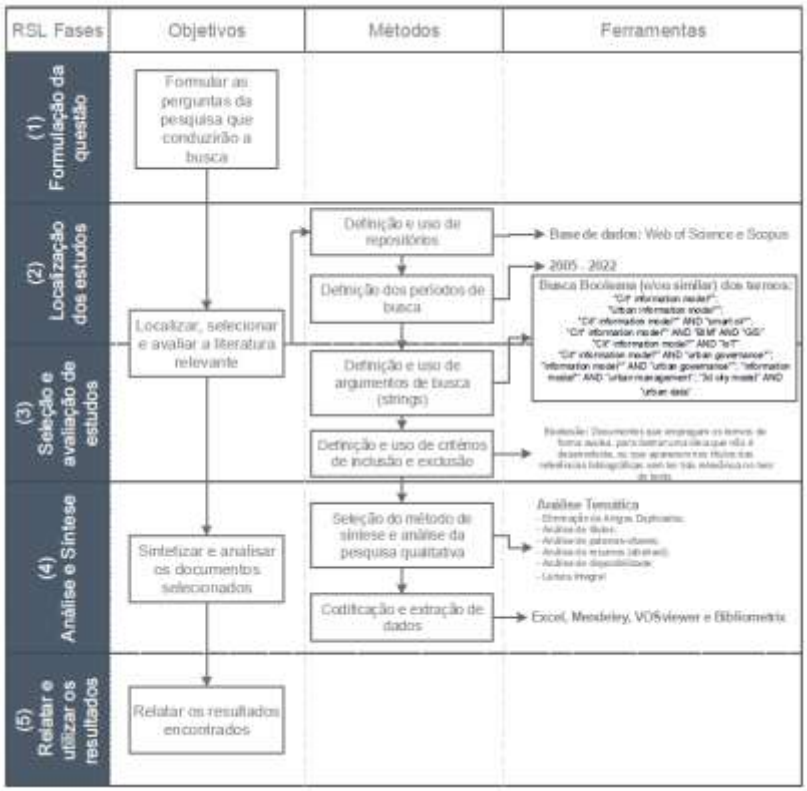
O CIM tem sido amplamente estudado na última década, com foco na melhoria da gestão urbana por meio do desenvolvimento de plataformas digitais inteligentes. O objetivo é armazenar, controlar e sistematizar soluções baseadas em *Big Data* e na construção de modelos 3D de cidades (CAI *et al.*, 2021). A criação e utilização de ferramentas e plataformas que permitam realizar uma gestão inteligente das cidades são fundamentais, principalmente pela automação e integração de processos que auxiliem na tomada de decisões (JAIME, 2019).

Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o conceito de CIM, BIM, SIG, gestão urbana inteligente e governança urbana, a fim de discorrer sobre os conceitos que permeiam os gêmeos digitais e as cidades inteligentes, e identificar como o CIM pode se tornar uma ferramenta de informação urbana. Pretende-se responder às seguintes perguntas: Quais são os temas de pesquisas que associam o CIM e a gestão urbana? Quais são os principais entraves, *clusters*[2] e as perspectivas de pesquisas futuras sobre o tema.

2 METODOLOGIA

A RSL foi realizada por meio da integração dos modelos de Garza-Reyes (2015) e Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015). Foram adotadas as seguintes fases para a RSL: formulação da questão problema, localização dos estudos relevantes, seleção e avaliação dos estudos, análise e síntese dos resultados, e relato e uso dos resultados. Essas fases estão representadas na Figura 1.

Figura 1: Quadro de procedimentos metodológicos RSL



Fonte: Autoras, adaptado de Garza-Reyes (2015).

A primeira fase envolveu a formulação da questão problema, que deve ser clara, específica e relevante para a área de pesquisa. A segunda fase consistiu na busca por estudos relevantes em fontes confiáveis, como bases de dados e periódicos científicos. Na terceira, os estudos foram selecionados e avaliados de acordo com critérios pré-estabelecidos, como a qualidade metodológica e a relevância para a questão problema. Na quarta, os resultados dos estudos selecionados foram analisados e sintetizados, permitindo a identificação de padrões e tendências na literatura revisada. Finalmente, na quinta fase, os resultados da revisão foram relatados e utilizados para a produção de conhecimento na área de pesquisa, e neste caso, para o desenvolvimento da estrutura conceitual das camadas necessárias para o CIM.

Foi realizada uma análise bibliométrica com o intuito de compreender a influência do CIM nos processos de gestão urbana. O termo CIM foi cunhado por Khemlani em 2005 e, por isso, foi estabelecido como marco temporal para a revisão bibliográfica o período entre 2005 e 2022. O objetivo dessa análise foi avaliar a relevância e importância do CIM na área de gestão urbana inteligente, considerando a produção acadêmica no período delimitado.

[2] *Cluster* é um conjunto de itens incluídos em um mapa ou redes, eles formam grupos por afinidade ou proximidade. Uma palavra-chave só pode pertencer a um cluster de uma rede criada (VOSviewer, 2022).

A análise de rede bibliométrica é uma ferramenta que auxilia na análise de grande quantidade de dados científicos, permitindo a visualização de padrões sistemáticos em bancos de dados bibliográficos (COBO *et al.*, 2011). Essa análise ajuda a identificar o potencial de um determinado campo, sendo relevante para a presente pesquisa que busca compreender as relações entre o CIM e a governança urbana. Para isso, foram utilizados os softwares Microsoft Excel, Mendeley, VOSviewer e Bibliometrix para realizar a revisão sistemática e bibliométrica.

3 RESULTADOS

O presente artigo apresenta os resultados de uma RSL que aborda a relação entre o CIM e a gestão urbana inteligente, além das relações existentes neste processo entre BIM, SIG e IoT. Para isso, foi discutido ao longo do texto os conceitos que permeiam esses temas, a fim de proporcionar um embasamento teórico sólido para a análise realizada.

Os artigos selecionados (705 artigos) foram inicialmente cadastrados em um banco de dados e submetidos à remoção de duplicatas com filtros no "nome do artigo" e no "resumo do artigo" no software Microsoft Excel. Em seguida, foi realizada uma verificação visual para identificar possíveis artigos duplicados ou com bases insuficientes para análise, os quais foram excluídos. Após essa etapa, restaram 304 artigos selecionados para a revisão. Aplicando os critérios de elegibilidade foram feitas as leituras de todos os títulos e palavras chaves. Deste modo, foram filtrados 228 artigos referentes ao eixo estrutural da pesquisa, analisando os estudos que se aplicavam ao meio urbano, considerando a cidade como campo de estudo. Foram realizadas as leituras dos títulos, palavras-chaves e resumos novamente, estabelecendo tópicos principais para esta investigação e para a primeira análise quantitativa a partir do software VOSviewer.

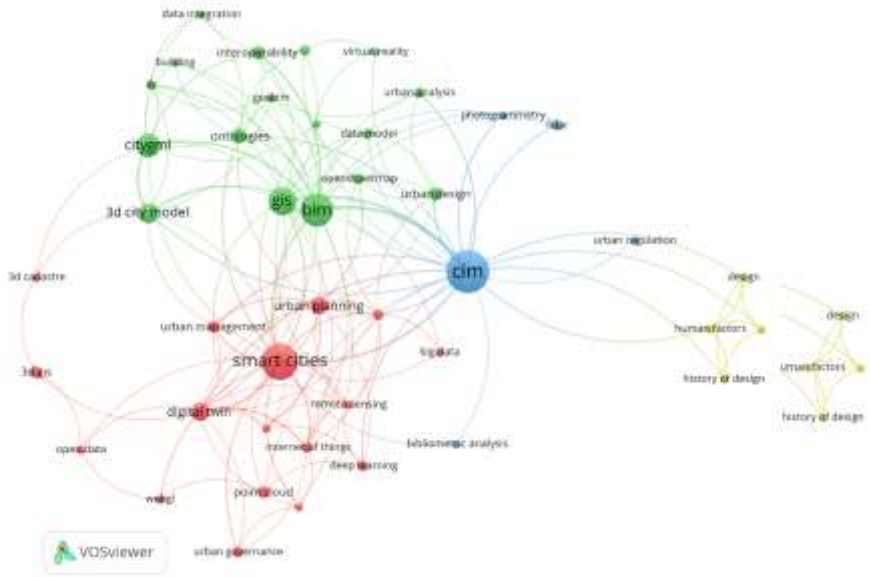
O VOSviewer foi utilizado para apresentação dos resultados, neste software é possível criar as redes de co-autoria, citação e coocorrência de termos e palavras-chave, permitindo a visualização dos dados de pesquisa a partir de *clusters*. O software Excel serviu para a tabulação dos dados e desenvolvimento de gráficos. Neste artigo serão apresentados apenas os resultados referente à análise de palavras-chave com o intuito de subsidiar o desenvolvimento de eixos estruturantes para a pesquisa e para formulação da estrutura conceitual com as principais camadas a serem utilizadas no desenvolvimento do CIM, que faz parte de uma pesquisa de doutorado em desenvolvimento.

3.1 Análise de palavras-chave

Para a análise de citação e coocorrência de palavras-chave foram selecionados os 228 artigos. O VOSviewer consegue trabalhar com um conjunto grande de dados e oferece diversas opções de análises (FAHIMNIA, SARKIS, DAVARZANI, 2015). Ele utiliza técnicas de análise de rede para criar visualizações dos termos e autores relacionados, agrupando-os em conjuntos de acordo com sua similaridade. As cores representam os *clusters* e os tamanhos dos círculos representam a frequência dos itens na análise. A proximidade entre os itens indica a sua proximidade conceitual ou temática. Essa técnica é amplamente utilizada para identificar as principais tendências e padrões em um campo de pesquisa específico.

A análise de coocorrência de palavras-chave é uma técnica que permite identificar os termos mais frequentes em uma coleção de artigos científicos e as relações entre esses termos. No caso desta revisão, aplicou-se um filtro para exibir apenas as palavras-chave com frequência maior que três. O resultado é uma rede de coocorrência de palavras, apresentada na Figura 2, que mostra as conexões entre as palavras-chave e a densidade dos termos. Essa análise ajuda a identificar tendências e padrões na pesquisa sobre CIM, BIM, SIG, IoT, governança urbana e gestão urbana inteligente.

Figura 2: Visualização das palavras-chave tratadas em rede



Fonte: Autoras.

Optou-se por realizar o tratamento do banco de dados associando os termos correlatos apresentados entre as palavras-chave como por exemplo: "*city information model, city information modeling, city information modelling* e CIM", agrupando todas em uma única palavra chave – "CIM". Isso também foi feito para os termos BIM, GIS[3], *Digital Twins*, *Smart Cities*, 3D *city model* e palavras que apareceram escritas incorretamente ou plurais. É possível observar que nos artigos selecionados os principais temas e palavras-chave, associadas pelo autor, se referem a CIM, *Smart Cities*, BIM e GIS, em posição de destaque na criação da rede. Para esta rede foram considerados quatro *clusters*, cada grupo representado por uma cor (amarelo, verde, vermelho e azul), sendo o amarelo o menos relevante para pesquisa

Observa-se que as características das publicações referentes ao CIM, apresentam uma interdisciplinaridade e envolvem a colaboração de profissionais de diversas áreas, engenheiros, arquitetos, urbanistas, geógrafos, tecnólogos da informação e cientistas da computação. O uso de modelos de informação BIM, CIM e SIG associados a tecnologias avançadas como *Light Detection and Ranging* (*LiDAR*), fotogrametria e processos de IA estão muito presentes nas pesquisas, principalmente nos últimos anos.

Destaca-se a importância do aparecimento de palavras associadas a uma "abordagem orientada a dados", na qual se utilizam de dados urbanos para informar a tomada de decisões sobre o planejamento urbano, o gerenciamento de projetos de construção e a operação urbana, o que para o desenvolvimento de pesquisas voltadas para gestão urbana inteligente é fundamental.

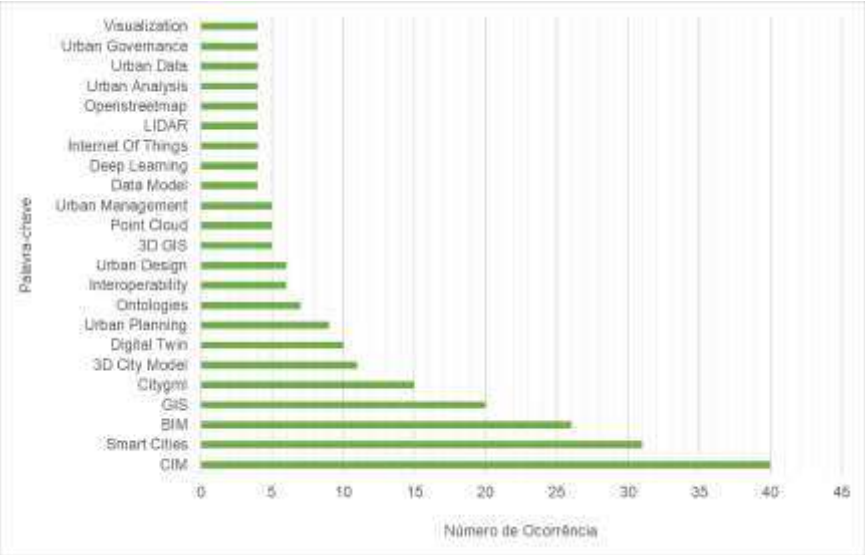
As pesquisas sobre CIM, governança urbana e gestão urbana inteligente têm uma perspectiva internacional, envolvendo pesquisadores e profissionais de várias partes do mundo, e apresentando estudos de caso de cidades em diferentes países e regiões. É comum que esses estudos de caso se concentrem na escala de quadras ou bairros, o que permite uma análise mais detalhada das possibilidades de aplicação do CIM na gestão urbana.

A maioria das pesquisas sobre CIM estão focadas em sua aplicação como ferramenta para o planejamento e gestão urbana, especialmente em relação às Cidades Inteligentes. Utilizando o CIM para prever o crescimento urbano, identificar áreas críticas ou realizar a simulação de desastres naturais.

A Figura 3 apresenta as palavras-chave com maior número de ocorrências nos artigos analisados, demonstrando que grande parte das pesquisas ainda estão associadas à conceituação do CIM como metodologia, possuindo uma conexão direta com as pesquisas sobre as Cidades Inteligentes. Os modelos de informação podem ser usados para prever o crescimento das cidades, identificar as áreas que precisam de planejamento adequado, além de otimizar a gestão das cidades e simular diferentes cenários para a tomada de decisão.

[3] *GIS – Geographic Information System,* termo em inglês para SIG – Sistema de Informação Geográfica.

Figura 3: Visualização das palavras-chave por número de ocorrência



Fonte: Autoras.

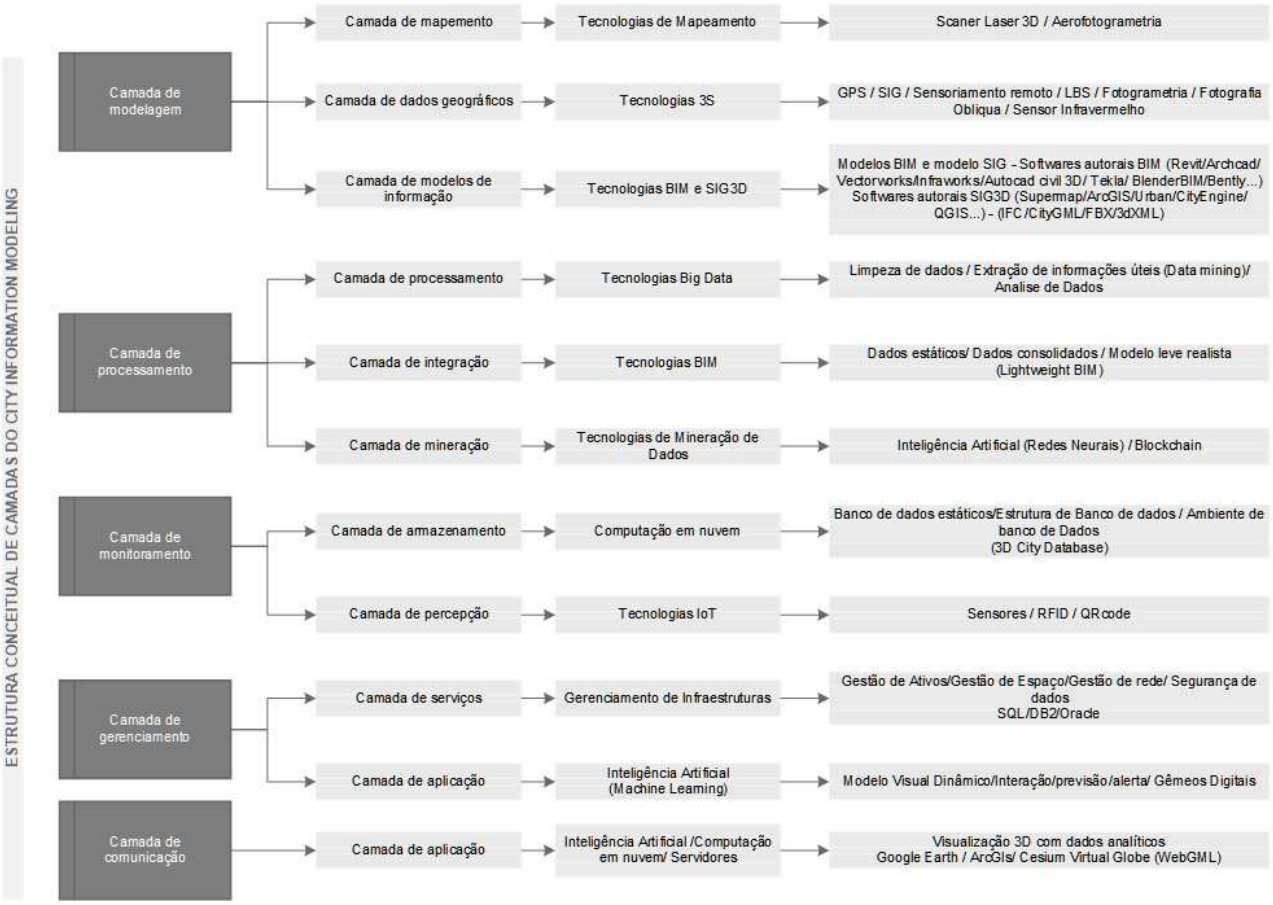
As publicações foram categorizadas com o objetivo de reunir os assuntos mais abordados em cada um dos artigos. Separados em: **Conceituação** (Artigos que apresentaram em sua estrutura revisões bibliográficas referentes à terminologia de CIM, Modelos de Informação, Gêmeos Digitais e Cidades Inteligentes), **Integração** (Artigos que apresentaram conceitos relacionados à interoperabilidade CIM, BIM, e SIG, integração entre plataformas ou softwares como CityGML e IFC), **Modelagem e Dados Urbanos** (Construção de Modelos, simulações, potencialidades do uso do CIM, estudos de caso, e que apresentaram formas de aquisição, visualização e processamento de dados urbanos) e **Gestão Urbana e Cidades Inteligentes** (artigos diretamente ligados ao planejamento urbano e aos processos de gerenciamento de ativos da cidade).

Além dos grupos de pesquisa, foi possível estabelecer um esquema conceitual de estrutura para o CIM. De acordo com as pesquisas e os principais fatores de influência na associação de diversas tecnologias para o processo de gestão inteligente das cidades, estabelecendo módulos principais para o desenvolvimento dos processos de modelagem da informação da cidade, dentre as camadas principais a de modelagem, monitoramento, processamento, gerenciamento e comunicação.

3.2 Estrutura do Modelo de Informação CIM

Considerando a estrutura de um Modelo de Informação da Cidade que realiza uma combinação de dados geométricos e semânticos, é fundamental o entendimento que estes modelos possuem múltiplas dimensões e precisam de um conjunto de novas tecnologias associadas para o desenvolvimento da simulação digital das cidades e futuramente para real construção de um gêmeo digital, como pode ser vista na Figura 4.

Figura 4: Diagrama da estrutura conceitual de camadas CIM



Fonte: Autoras.

O processo ideal de elaboração de modelos em relação à realidade, perpassam a construção de modelos descritivos, exploratórios, planejadores e preditivos (ECHENIQUE, 1975). É fundamental a escolha correta dos objetivos do modelo, assim como os “usos” do modelo BIM são decisivos no seu desenvolvimento, no CIM este objetivo também deve ser analisado para concepção do modelo.

O mapeamento de todos os modelos que deverão ser construídos, os processos, políticas, tecnologias, ativos, elementos, objetos, pessoas devem estar claramente evidenciados, determinando dimensões que permitam o desenvolvimento dos principais modelos de estruturação de uma plataforma CIM que auxilie na gestão urbana inteligente das cidades.

Dentre os principais problemas existentes na modelagem da informação para processos de gestão urbana estão a captura, manipulação e tratamento dos dados, bem como na conformação do processo, pois um grande desafio é a desestruturação dos dados urbanos, principalmente no cenário brasileiro. Os modelos de informação podem ganhar ou perder dados durante o tempo, o que, sem dúvidas, é um fator fundamental no processo de planejamento e gestão urbana. Ao relacionar as questões da gestão urbana inteligente, destaca-se o conjunto de ações estratégicas que propiciam uma melhoria nos serviços que são prestados para população.

A ISO 19101 (2014) é um padrão internacional que define um modelo de referência para SIG e apresenta, em sua classe de serviços, a relação com a modelagem da informação, compreendendo desde os serviços de processamento, da gestão dos modelos de informação, a gestão dos sistemas, gestão da comunicação e serviços de interação humana e das tarefas/fluxos de trabalho, estabelecendo formas que permitam interoperabilidade entre sistemas e facilitando a troca de dados geoespaciais entre diferentes organizações e usuários. Diante disso, destaca-se sua importância na garantia da qualidade para as diferentes aplicações, como o planejamento urbano.

A adoção de tecnologias BIM, IoT, SIG e CIM ainda enfrenta desafios. Dentre eles a falta de padronização e compatibilidade entre os sistemas, plataformas e softwares utilizados, problema que vem sendo estudado

e investigado nos últimos anos. A interoperabilidade entre os sistemas ainda é falha e apresenta erros de comunicação; a utilização de padrões abertos IFC, CityGML, GeoJSON, XML, SQL, dentre outros, é fundamental para que a estrutura de dados e a modelagem da informação aconteça de forma fluida e estruturada. Além disso, muitos profissionais ainda precisam ser treinados para usar essas tecnologias efetivamente (SALHEB; ARROYO OHORI; STOTER, 2020).

A interoperabilidade entre sistemas é um desafio em diversos setores, incluindo a área de tecnologia da informação aplicada à construção civil e gestão urbana. A convergência entre os modelos BIM e SIG é uma tendência crescente, visto que ambas as tecnologias oferecem informações valiosas para o planejamento urbano e gestão de projetos de construção. No entanto, a falta de suporte nos softwares BIM para os formatos e modelos de dados da Geoinformação 3D é um obstáculo a ser superado. É fundamental o desenvolvimento de um mapeamento semântico e geométrico entre os principais padrões IFC e CityGML, realizando a conversão de georreferenciamentos globais para locais, e a decisão de quais são as relações topológicas que devem ser mantidas na utilização de determinadas ferramentas (SALHEB; ARROYO OHORI; STOTER, 2020).

A IoT e a IA estão se tornando uma das principais formas para que o CIM se torne realidade, além da integração entre o BIM e SIG, reforça a importância da construção dos gêmeos digitais que permite o mapeamento digital do mundo físico para o desenvolvimento de uma modelagem visível, controlável e gerenciável. E que a partir da construção dos modelos, eles tenham usos específicos podendo ser preditivos ou exploratórios e permitam a simulação e a interação do usuário com a cidade, favorecendo no auxílio da tomada de decisão.

A estrutura de governança da rede orientadas por dados é baseada na abertura e interação dos dados como meio de comunicação interativa, o que propicia uma grande quantidade de informações relacionadas à tomada de decisões para assuntos urbanos e reduzem o custo da coleta e a comparação de soluções para determinados problemas, reduzindo assim o custo de comunicação (HU, 2022).

As dificuldades técnicas, como a falta de padrões de dados espaciais e políticas específicas, podem tornar a coleta de dados ineficiente e afetar sua qualidade. A governança e gestão inteligente envolvem comunicação, participação na tomada de decisões, além de estabelecer estratégias políticas para os serviços públicos. Nesse sentido, o uso de ferramentas de IA é essencial para o desenvolvimento de aplicações que suportem as atividades de plataformas sociais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise, pode-se concluir que os modelos de informação têm o potencial de impactar as atitudes e o comportamento dos atores envolvidos na gestão urbana inteligente, e que as ferramentas tecnológicas podem educar e motivar as pessoas na construção das cidades mais inteligentes. É fundamental adotar abordagens estratégicas para introduzir ferramentas de IA e de construção de modelos CIM que permitam a melhoria do processo de gestão urbana, para a construção de cidades resilientes, sustentáveis e inteligentes. A visualização dos desafios que as cidades enfrentarão ao longo do tempo é uma das principais vantagens dessas ferramentas, e elas são essenciais para apoiar os processos de gestão urbana. Além disso, podem gerar mudanças comportamentais em todos os atores envolvidos na gestão urbana.

A construção de uma plataforma CIM é crucial para o gerenciamento eficiente dos ativos urbanos, apoiando a gestão colaborativa entre diferentes departamentos, setores da sociedade e atores, bem como permitindo a participação dinâmica da população. O CIM surge como uma tendência importante para as cidades inteligentes, uma vez que é uma metodologia que promove a informação e a gestão inteligente das cidades. Ao integrar todos os modelos espaciais urbanos, desde do BIM, SIG e IoT até as funções de visualização, análise e parametrização de dados, o CIM se torna uma poderosa base de dados para melhorar o desenvolvimento das cidades.

As análises das pesquisas mostram que há uma desconexão entre as recomendações teóricas relacionadas ao CIM e sua aplicação na prática. Há poucos estudos que compreendam a influência da *big data* na gestão das cidades e a falta de pesquisas abrangentes que relacionem a governança urbana com a construção de modelos de informação de cidades. A pesquisa realizada ajudou a identificar essas lacunas na literatura e a compreender as diferentes abordagens propostas pelos autores para a adoção dos modelos CIM.

Os artigos analisados revelaram que alguns autores têm uma visão simplista e limitada dos modelos de informação de cidades, os vendo apenas como uma reprodução digital tridimensional do ambiente urbano. No entanto, a bibliografia mostra que a tecnologia de gêmeos digitais e a construção de modelos de informações de cidades são voltadas para a digitalização de componentes, produtos e sistemas físicos, possibilitando simulações das condições de uso e operação das cidades. Assim, é importante compreender a amplitude e as possibilidades dos modelos de informação de cidades para sua aplicação eficiente na governança urbana e na gestão urbana inteligente.

REFERÊNCIAS

ANSAH, M; CHEN, X; YANG,H;LU, L; LAM,P. Developing an automated BIM-based life cycle assessment approach for modularly designed high-rise buildings **Environ. Impact** Assess. Rev., 90, 2021.

CAI, Y.; HUANG, H.; WANG, K.; ZHANG, C.; FAN, L.; GUO, F. Selecting Optimal Combination of Data Channels for Semantic Segmentation in City Information Modelling (CIM). **Remote Sensing**. n.13, 1367, 2021. https://doi.org/10.3390/rs13071367

COBO M.J, LÓPEZ-HERRERA A.G, HERRERA-VIEDMA E, HERRERA F. Science mapping software tools: review, analysis, and cooperative study among tools. **J Am Soc Inform Sci Technol** 62:1382–1402, 2011. https ://doi.org/10.1002/asi.21525

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

ECHENIQUE, M. **El concepto de sistemas, modelos y teorias en los estudios urbanos**. In: Echenique, M. et al. Modelos Matemáticos de la Estructura Espacial Urbana: Applicaciones en América Latina., Buenos Aires : Ediciones SIAP, 1975.

FAHIMNIA, B., SARKIS, J., DAVARZANI, H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. International Journal of Production Economics. 162, 101-114, 2015. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003

GARZA-REYES, J. A. Lean and green - a systematic review of the state of the art literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 18-29, 2015.

HU, B. Research on the Nonlinear Random Matrix Model for Urban Information Model and Modern Urban Governance. **Hindawi Mathematical Problems in Engineering** Volume 2022, Article ID 9128675, 11 pages, 2022.

HUANG, Y-S; SHIH, S-G; YEN, K. An integrated GIS, BIM and facilities infrastructure information platform designed for city management, **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, 44:4, 293-304, 2021. doi:10.1080/02533839.2021.1897481

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19101:2014: **Geographic information: Reference model** (ISO 19101:2014). Suiça: ISO, 2014.

JAIME, I. S. **As cidades contemporâneas e suas tecnologias: A perspectiva do City Information Modeling**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

KHEMLANI, L. Hurricanes and their aftermath: how can technology help?. **AECbytes**, Sep. 2005 (29/09/2005). Disponível em: http://aecbytes.com/buildingthefuture/2005/HurricaneTechHelp.html. Acesso em: 21 out. 2017.

LIU, Z; ZHANG, A; WANG, W. A framework for an indoor safety management system based on digital twin. **Sensors**. n.20, 2020. Disponível em: < https://www.mdpi.com/1424-8220/20/20/5771> Acesso em: 10 mar. 2023.https://doi.org/10.3390/s20205771

SALHEB, N., ARROYO OHORI, K., STOTER, J.: Automatic conversion of cityGML to IFC, Int. Arch. **Photogramm. Remote Sens.** Spatial Inf. Sci., XLIV-4/W1-2020, 127–134, https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W1-2020-127-2020, 2020.

SACKS,R; EASTMAN, C; LEE, G; TEICHOLZ,P**. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 3ed. Porto Alegre: Bookman, 2021.565 p.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, Automation in Construction. Volume 18, Issue 3, 2009.