

O CIM no contexto das *smart cities*: como a interoperabilidade entre BIM e SIG podem auxiliar no desenvolvimento das *smart cities*.

Álvaro José Dias

Mestrando em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Universidade do Estado de Minas Gerais, Passos, MG, Brasil.
alvaroj.dias27@gmail.com

João Paulo Leonardo de Oliveira

Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Universidade do Estado de Minas Gerais, Passos, MG, Brasil
joao.oliveira@unifafibe.com.br

RESUMO

As *Smart Cities* representam, atualmente, um dos assuntos mais debatidos e discutidos relacionados ao desenvolvimento urbano. Diversos processos tecnológicos e inovadores estão sendo inseridos na rotina da sociedade buscando suprir as novas demandas de um crescimento sustentável e que coloque como protagonistas os cidadãos de maneira geral. Nesse contexto, o setor da infraestrutura se configura como um dos pontos mais importantes para se atingir esse propósito. O presente trabalho tem como objetivo estudar a aplicabilidade dos sistemas *Building Information Modeling* (BIM) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) no ambiente das *Smart Cities*, pontuando as principais potencialidades e desafios da utilização dos processos. O estudo será feito por meio de uma revisão bibliográfica dos trabalhos mais relevantes, focando na integração entre as tecnologias e inserindo na discussão os conceitos de *City Information Modeling* (CIM). Entende-se que a adoção dos conceitos do CIM por parte dos gestores das cidades e de todo setor da construção possa representar um importante passo no desenvolvimento das *Smart Cities* por todo o mundo.

Palavras-chave: *Smart Cities*, BIM, SIG, CIM, Infraestrutura

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o mundo experimentou diversas mudanças nos contextos das cidades. Os ambientes urbanos se tornaram mais complexos e as dinâmicas envolvidas pelos seus diversos agentes se tornaram mais sofisticadas e abrangentes.

Junta-se esse cenário com as demandas ambientais urgentes, produto de anos de negligência acerca da longevidade dos recursos utilizados, têm-se uma conjuntura inédita, onde se faz necessário um replanejamento urbano, que leve em consideração a sustentabilidade e o bem-estar dos cidadãos.

Os processos tecnológicos inovadores buscam atuar para suprir essas demandas e auxiliar os gestores públicos e as empresas privadas a criarem estratégias e planos de ações visando uma nova infraestrutura para as cidades. Nascendo assim o conceito de *Smart Cities* (Cidades Inteligentes).

Os estudos acerca das *Smart Cities* se iniciaram nos anos 90 e vem se desenvolvendo com o passar do tempo. Números recentes mostram que atualmente existem cerca de 2000 projetos de *Smart Cities* pelo mundo, incluindo projetos que estão se iniciando e aqueles já possuem um desenvolvimento maior. Isso representa um aumento de 20% se comparado ao ano de 2015 (NAIDU, 2018)

É fato que a ideia de cidades tecnológicas mais sustentáveis que prezam pelos seus cidadãos é bastante aceita e estudada pela academia, porém o maior desafio não é buscar entender os fundamentos, mas sim traçar estratégias para a implantação dos conceitos, seja em cidades já existentes ou em novos projetos.

Uma das maneiras de iniciar esse estudo é focado naquele que representa aspecto de um planejamento urbano: a infraestrutura de uma cidade e seus componentes.

A construção estratégica de infraestruturas viárias, o zoneamento e divisão territorial das cidades e planejamento das construções verticais (Prédios e afins) constitui a temática principal na qual o presente trabalho se baseia.

Diversas tecnologias foram inseridas junto ao mercado da construção civil na história, e a mais significativa dos últimos anos é o *Building Information Modeling*, comumente chamada de BIM.

A metodologia BIM representou uma revolução na maneira de como lidar com todos os processos envolvidos nas construções verticais de pequeno a grande porte. A possibilidade de se modelar as estruturas em 3D, a capacidade de se coletar dados e informações em níveis nunca vistos e, principalmente, a maneira colaborativa de que todas essas informações são compartilhadas, fazem com que o BIM seja uma tecnologia única e represente uma ferramenta potencial no desenvolvimento de *Smart Cities*.

Porém, mesmo com todas essas melhorias, o BIM possui fatores que limitam seu campo de atuação, sendo necessária a integração de outra tecnologia, que possibilite abranger esses processos para a infraestruturas horizontais como pontes, viadutos, estradas, entre outros. Nesse quadro, a tecnologia em questão são os Sistemas de Informações Geográficas, o SIG.

O SIG se trata de uma tecnologia que permite a coleta de dados geográficos e cartográficos que permitem o mapeamento e a modelagem territorial. Esses dados podem ser utilizados para planejamento urbano e regional.

O presente estudo busca aprofundar-se na literatura referente ao tema, objetivando unir as vantagens da metodologia BIM com o SIG, que possibilitaria modelar as informações acerca de toda infraestrutura urbana, seja ela horizontal e vertical. Será estudado os meios de compatibilização entre as tecnologias, introduzindo o conceito de *City Information Modeling* (CIM) e relacionando-os aos das *Smart Cities*.

2 REFERENCIAL TEORICO

2.1 Conceito de *Smart Cities*

As cidades são ambientes dinâmicos caracterizados pela atuação e colaboração de diversos agentes que se interagem entre si, e que possuem características específicas que dependem da região que estão inseridas e do nível de desenvolvimento que experimentam em seu dia a dia.

Esse dinamismo é definido pelo rápido aperfeiçoamento do planejamento urbano e do meio ambiente, fazendo com que a gestão responsável busque soluções para essas demandas de maneira rápida e prática. Nesse contexto entram as empresas, com a implantação de tecnologias e processos novos que são capazes de alinhar soluções específicas das grandes cidades. (SILVA et. al, 2017)

De acordo com Almeida e Andrade (2018, p. 23)

Em paralelo, e muitas vezes em razão desta diversidade de relações de troca, a cidade, como território físico no qual agem dinâmicas expansivas, responde de maneira própria e também diversamente no surgimento de novos desafios, tais como redes de mobilidade saturadas, alagamentos, crises de fornecimento de energia e água, manejo ineficiente de resíduos sólidos, decadência das redes físicas urbanas, desequilíbrios microclimáticos, catástrofes naturais, entre outros.

Marzouk e Othman (2020) contribuem para a discussão acrescentando outros fatores como as questões relacionadas à saúde, tráfego, poluição, má gestão de recursos e deterioração da infraestrutura.

Esse contexto é produto de um aumento exponencial da população urbana e de sua complexidade, explicada por fatores como o êxodo rural e o aumento de imigrantes vindos de países sobre lutas sociais e militares. (AMORIM, 2016; MARZOUK, OTHMAN, 2020)

Esses novos desafios no planejamento urbano e a busca por um desenvolvimento mais sustentável, alinhados com os objetivos das associações ambientais, deram origem à concepção das “*Smart Cities*”. (ALMEIDA, ANDRADE, 2018)

Por se tratar de um tema tão complexo e abrangente, a definição de *Smart Cities* é bastante discutida entre os autores, que possuem visões diferentes, porém que se complementam. (YANAMURA, FAN, SUZUKI, 2017)

Cosido, Loucera e Iglesias (2013, p.2) definem *Smart Cities* “como um novo espaço urbano vivo que, para perceber, aprender e compreender o que está acontecendo ao redor da cidade, faz uso de uma TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) crescente infraestrutura, e então pode tomar decisões melhores e mais rápidas com base em todos os dados coletados.”

Os autores ainda pontuam que existe um grande equívoco em pensar que *Smart Cities* é simplesmente um avanço tecnológico, esquecendo todo o sentido amplo que está relacionado a melhoria na gestão dos recursos e da sustentabilidade. (COSIDO, LOUCERA, IGLESIAS, 2013).

Essa definição vai de encontro com o conceito explicitado por Yanamura, Fan e Suzuki (2017, p.1463) que dizem que a adoção do termo “inteligente” objetiva resolver a rápida urbanização, visando o desenvolvimento sustentável da cidade “por meio da gestão otimizada dos recursos e potencialidades, oferecendo uma qualidade de vida mais ampla e abrangente aos cidadãos”.

A ONU (Organização das Nações Unidas) também conceitua as *Smart Cities* descrevendo como uma “cidade inovadora que utiliza as TICs e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações e serviços e a competitividade das cidades enquanto garante o atendimento às necessidades das gerações atuais e futuras”. (UNION, 2015)

Ben Leitafa (2015, p.2) já possui uma definição mais sucinta e prática destacando que “uma cidade é “inteligente” quando pode integrar e sincronizar a liderança formal e a participação democrática endógena no ecossistema urbano baseado em TI.”

Esse conceito é similar ao aplicado por Harrison (2010) que destaca a serventia da tecnologia que utiliza os dados em prol do desenvolvimento da população e da sustentabilidade.

Amorim (2016, p.484) abrange mais o conceito:

Assim, a ideia de cidade inteligente pressupõe fundamentalmente: qualidade de vida para todos os seus moradores e visitantes, e o exercício pleno da cidadania. A adoção de políticas e práticas sustentáveis, com o consumo responsável de materiais e de recursos naturais, ao lado da autossuficiência em energia e em alimentos, bem como a redução de danos ao meio ambiente, fazem parte dessa estratégia.

Como dito anteriormente, as definições se diferem por meros detalhes e enfoques, e que se vistas como complementares, possibilita uma visão ampla e necessária para o entendimento das “*Smart Cities*”.

Uma questão pertinente e que permeia os estudos relacionados as *Smart Cities* é “Como identificá-las?” Ou seja, como saber se uma cidade é inteligente ou não?

Atualmente não existe nenhum critério padrão para a o reconhecimento do “nível” de inteligência adotado por uma cidade, porém o presente trabalho destaca os indicadores apontados por Leitafa (2015) (Tabela 1) como os mais assertivos e pertinentes com relação às definições apresentadas anteriormente.

Tabela 1 – Indicadores de uma SmartCity

INDICADORES	DEFINIÇÃO
Smart people	O capital social impulsiona essa dimensão. Pessoas inteligentes são o resultado da diversidade étnica e social, tolerância, criatividade e engajamento. As cidades podem oferecer cursos e workshops online, assistência online com educação e programas e serviços personalizados para levantar capital social e qualificação.
Smart governance	Os serviços eletrônicos, como governo eletrônico, mídia social e crowdsourcing, incluem todas as partes em processos transparentes de tomada de decisão que levam à governança inteligente.
Smart mobility	O planejamento urbano é a melhor forma de alcançar uma mobilidade inteligente. O planejamento urbano muda o foco dos modos de transporte individual para o coletivo por meio do uso extensivo de tecnologias de informação e comunicação (TIC).
Smart environment	Os líderes da cidade podem explorar oportunidades em áreas de estoque de construção e gestão de energia. O uso de tecnologias inovadoras, como a energia solar e outras fontes renováveis de eletricidade, também pode melhorar o ambiente natural.
Smart living	Esta última noção envolve a melhoria da qualidade de vida em termos de serviços, aumentando a atratividade para os turistas e promovendo a coesão social e a segurança. A vida inteligente inclui equipamentos culturais, saúde eletrônica, serviços sociais e ferramentas de segurança pública, como sistemas de vigilância e redes de serviços entre emergências

Fonte: Adaptado de Leitafa, 2015

Os indicadores representam o caminho para se alcançar o desenvolvimento sustentável e inteligente de uma cidade. As ferramentas necessárias para isso são especificamente, relacionadas na coleta e na modelação de dados. No âmbito da infraestrutura tem-se duas ferramentas com um grande potencial para auxiliar nesse processo: o Building Information Modeling (BIM) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

2.3 Building Information Modeling (BIM) - Conceitos

O termo *Building Information Modeling*, traduzido normativamente no Brasil como Modelagem da Informação da Construção, é uma das tecnologias com maior potencial para ser utilizada como ferramenta para o desenvolvimento de *Smart Cities*. (ALMEIDA, ANDRADE, 2018; MARZOUK, OTHMAN, 2020)

Nos últimos anos a indústria da construção voltou seus olhos ao BIM e vem desenvolvendo inúmeros estudos acerca de seus benefícios e desafios na implementação. (MARZOUK, OTHMAN, 2020)

Em relação ao seu conceito, os autores Wang, Pan e Luo (2019, p. 41, tradução nossa) definem da seguinte maneira:

O BIM, que representa digitalmente as informações físicas e funcionais dos projetos de construção, é essencialmente um banco de dados compartilhado que pode facilitar todo o processo de gestão do ciclo de vida da construção. O BIM possibilitou o gerenciamento digital de todo o ciclo de vida das

edificações, incluindo as fases de projeto, construção, operação, gerenciamento e manutenção de projetos de construção.

Vale ressaltar os termos expressos nessa definição como “banco de dados compartilhado” e “gerenciamento digital” que vão de encontro aos conceitos descritos anteriormente de *Smart Cities*.

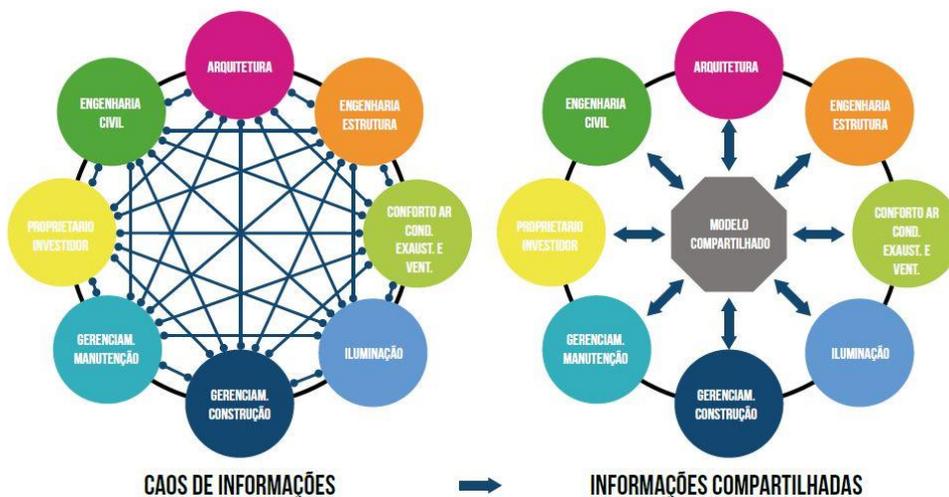
Nesse mesmo sentido Almeida e Andrade (2018, p.27) agregam à discussão o termo “modelagem da informação” que é onde se encontra a essência da metodologia BIM.

De acordo com os autores:

O termo ‘modelagem da informação’ advém das ciências da computação, tanto no que se refere a análise de sistemas como programação. Nestas áreas, é tratado como uma abordagem disciplinada de análise a qual usa conceitos de programação para produzir uma clara especificação de como uma atividade opera, ou seja, como ele gerencia a informação. A modelagem da informação propõe um enquadramento de referência que destaca de forma explícita, antes de tudo, associações entre coisas.

Na Figura 1 é ilustrado como a modelagem da informação é importante para o processo como um todo. As informações são compartilhadas estrategicamente com todas as partes interessadas nos projetos, evitando ruídos na comunicação e falhas de execução.

Figura 1 - Integração do modelo BIM



Fonte: CBIC, 2016

No Tabela 2 encontram-se as principais definições encontradas na literatura e que serão base para o desenvolvimento do trabalho em questão.

Tabela 2 – Definições da metodologia BIM (Building Information Modeling)

AUTOR	DEFINIÇÃO
Andrade (2012)	[...] um processo de projeto ou atividade humana, ou conjunto de sistemas, ou metodologia, fundamentado em um gerenciamento das informações do edifício por meio de um modelo digital, visando à colaboração, coordenação, integração, simulação e otimização do projeto, construção e operação do edifício, durante seu ciclo de vida.
Eastman et al. (2004)	[...] envolve uma mudança revolucionária na maneira em que os projetos são concebidos, como a informação de uma edificação é representada e como esta informação será utilizada mais adiante nas operações de construção.
Silva et al. (2017)	[...] um software voltado aos engenheiros, designers, geógrafos e técnicos que estejam envolvidos com a construção civil ou a urbanização, onde o seu complexo banco de dados proporciona uma série de ferramentas que facilitam os processos de coordenação, comunicação, manutenção e análise de edifícios ou projetos urbanísticos.
Deritti (2018)	[...] é uma tecnologia que vem sendo difundida no âmbito da construção civil como substituto do Computer Aided Design (CAD). Através do BIM, muitas etapas de projetos foram facilitadas, tais como compatibilização de projetos de diferentes disciplinas, orçamentação de obras, cronogramas e As Built.
Amorim (2016)	[...] um conjunto integrado de operações sofisticadas ao longo de todo o seu ciclo de vida, que compreendem os mais diversos tipos de simulações numéricas visando a produção de edificações melhores, mais duráveis e mais sustentáveis, através do uso da modelagem procedural que incorpora a geometria tridimensional dos objetos, suas propriedades físicas, comportamentos, relacionamentos, dentre vários outros atributos, em benefício da melhor qualidade do ambiente construído, redução dos impactos ambientais e melhoria da satisfação dos usuários.
CBIC (2016)	[...] é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, combinados, geram uma metodologia para gerenciar o processo de projetar uma edificação ou instalação e ensaiar seu desempenho, gerenciar as suas informações e dados, utilizando plataformas digitais (baseadas em objetos virtuais), através de todo seu ciclo de vida.

Fonte: Elaboração do autor, 2021

Figura 2 – Modelo de Edifício projetos em BIM



Fonte: Nakamura, 2019

Em sua essência o BIM pode representar uma poderosa ferramenta no processo de concepção de uma Cidade Inteligente. O nível de detalhes gerados (Figura 2) e a quantidade de dados que são disponibilizados permitem um gerenciamento minucioso dos processos no ciclo

de vida de uma construção, além do registro de cada informação correspondente em um banco de dados compartilhado. Porém, a tecnologia ainda possui uma grande restrição em relação à expansão horizontal, sendo limitada a projetos de infraestruturas verticais. (MARZOUK, OTHMAN, 2020)

Nesse contexto, outra tecnologia é inserida na discussão visando superar essas restrições e auxiliar o BIM no desenvolvimento das cidades: o Sistema de Informações Geográficas (SIG).

2.4 Sistemas de Informações Geográficas – Conceitos

SIG são sistemas digitais que se fundamentam na geografia, cartografia e tecnologia de sensoriamento remoto. Eles gerenciam informações espaciais relacionadas à superfície do planeta Terra e reproduzem essas informações em plataformas e softwares especializados. (WANG, PAN, LUO, 2019)

Naidu (2018, p.6, tradução nossa) pontua, dizendo:

SIG foi fundamentalmente criado como uma estrutura para capturar, guardar, questionar, dissecar e mostrar informações geológicas referenciadas, mas com o avanço na web, inovação portátil, SIG surgiu como um termo amplo e um pacote total, que pode aludir a vários dias atuais avança e impulsiona formas e passa a ser mais padrão que cresce o aprendizado da urbanização e associações entre os indivíduos.

O SIG não se trata de uma tecnologia recente, porém ela vem se transformando e se desenvolvendo com o passar dos anos. (NAIDU, 2018)

Atualmente é essencial para o planejamento urbano e regional de cidades. Os sistemas são compostos por uma base de dados digital que pode ser utilizada para inúmeros propósitos, onde as coordenadas espaciais representam o meio comum referencial. (DERITTI, 2018)

Uma definição abrangente e precisa é descrita por Amorim (2015, p.92) que diz:

Os SIG são especificados, projetados e implantados para representar um ou mais sistemas do mundo real. Os SIG podem ser desenvolvidos para suportar ações de planejamento, gestão (operação e manutenção) e monitoramento de todos os sistemas urbanos, a exemplo de segurança e políticas públicas, e sistemas de infraestrutura, como telecomunicações, transportes públicos e saneamento, ou sistemas sociais como educação e saúde, dentre outros.

Outro ponto importante é a integração do SIG com a Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) que possibilitou a produção de análises quantitativas e qualitativas de vastas extensões territoriais. (CORREA, SANTOS, 2015)

Esses conceitos trazem aspectos importantes, uma vez que é essencial lembrar que o enfoque no planejamento e na gestão do espaço territorial é um dos pilares de uma Cidade Inteligente. (WANG, PAN, LUO, 2019)

Portanto se faz importante a vinculação das diversas interfaces do SIG juntos aos processos na concepção de uma cidade inteligente. No Tabela 3 é descrito como deve ocorrer essa vinculação, listando os principais itens e exemplos relacionados.

Tabela 3 – Aplicação de Ferramentas GIS nas *SmarCities*

ITEM	DESCRIÇÃO
Planejamento Espacial	Uma cidade existente pode se concentrar no gerenciamento inteligente de resíduos sólidos usando big data e GIS
Gis-Ict	Fluxo contínuo de dados e informações; conectando departamentos e partes interessadas
Coleta	Digitalização de dados geográficos, bancos de dados espaciais, fornecimento de dados críticos para o gerenciamento de cidades "inteligentes".
Processamento	Gerenciamento de dados em tempo real, manutenção de protocolos de dados abertos, integração de arquitetura orientada a serviços (SOA) com uma arquitetura de serviço de dados que não deixa lugar para silos de dados.
Comunicação	Um fluxo bidirecional de informações entre participantes, partes interessadas e cidadãos.
Análise	Análise de big data estruturado (digitalizado) e não estruturado (social, surveys) para análise em tempo real.
Tomada de Decisão Baseada em Dados	O ecossistema 'sempre conectado', possibilita a gestão em tempo real e a tomada de decisões.

Fonte: Deogawanka, 2016

Nota-se que o GIS possibilita que os dados geográficos coletados possam ser usados estrategicamente em diversas frentes, não se limitando apenas ao planejamento territorial de uma cidade.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho constitui-se de uma revisão bibliográfica de caráter exploratório.

A revisão bibliográfica define-se como uma investigação e levantamento dos principais trabalhos publicados sobre a temática. (LAKATOS E MARCONI 1987)

Foram considerados na pesquisa qualquer material que tivesse relevância e qualidade em seu conteúdo, abrangendo livros, revistas, artigos, boletins, monografias, teses, dissertações, entre outros. A literatura foi limitada entre 2010 e 2020. Totalizando 21 trabalhos incluídos nesta revisão.

Em primeiro lugar foi dado ênfase aos conceitos de *Smart City* (Cidade Inteligente), onde o foco foi no estabelecimento dos indicadores para se entender o que faz uma cidade ser inteligente.

Em um segundo momento a pesquisa se concentrou na conceituação do *Building Information Modeling* (BIM), sendo coletadas diversas definições que possam agregar na discussão.

Complementando foram lidos os trabalhos relacionados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), levantando suas principais características e aspectos.

Como resultado foram comparadas as definições entre BIM e SIG, buscando os preceitos para sua compatibilização, e entendo no que consiste e como desenvolver o *City Information Modeling* (CIM).

Finalmente foi comparado o pretexto de CIM junto aos indicadores das *Smart Cities*, buscando entender quais pontos o sistema pode beneficiar no desenvolvimento de soluções inteligentes e sustentáveis para as cidades.

4 RESULTADOS

4.1 Interoperabilidade BIM E SIG – Potenciais Benefícios Encontrados

A interoperabilidade entre os sistemas BIM e SIG mostrou-se possível e promissora na atuação no desenvolvimento urbano das cidades. Mas antes é importante entender as escalas em que cada tecnologia opera nesse contexto.

Figura 3 – Modelo de Hierarquia BIM-SIG

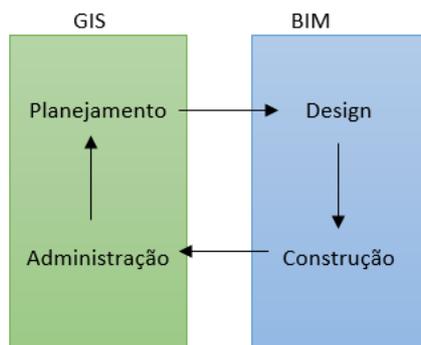


Fonte: Almeida, Andrade, 2015

Baseado no modelo exemplificado por Amorim e Andrade (2015) o SIG atua na escala territorial tanto em nível macro (mundo) quanto em nível micro (lote), enquanto o BIM se efetiva nos dados inseridos nesses territórios através das construções dos edifícios.

Outro ponto importante é entender que a integração entre as tecnologias não se faz de maneira linear, como muitos pensam, mas de maneira cíclica, onde o fluxo de informações disponibilizados é contínuo. Andrews (2019) propõem um modelo simplificado dessa integração (Figura 4), facilitando o entendimento.

Figura 4 – Interação BIM-GIS



Fonte: Adptado de Adrews, 2019

Com os conceitos de escala de atuação e fluxo de processos pode-se perceber o quão abrangente essa integração é. As áreas de atuação são exemplificadas no Tabela 4, baseando-se nos estudos de Wang, Pan e Duo (2019).

Tabela 4 – Áreas de atuação na integração BIM-SIG

ÁREAS DE ATUAÇÃO	APLICAÇÃO
Integração De Dados	A integração BIM-SIG possibilita inserir o <i>big data</i> nos processos de planejamento e monitoramento, otimizando assim as soluções para possíveis problemas e imprevistos que podem ocorrer durante e após as construções.
Governança Urbana	A representação das informações em modelos 3D das construções e do território na qual ela está inserida viabiliza a análise antecipada de possíveis desastres naturais como inundações que poderiam danificar as edificações e representar perigos à população.
Ciclo de Vida dos Projetos AEC (Arquitetura, Engenharia & Construção)	A integração BIM-SIG é aplicada em todo o ciclo de vida de um projeto AEC, onde o planejamento e gerenciamento do escopo é feito de maneira completa, abrangendo o controle do cronograma físico financeiro, o levantamento minucioso dos materiais e a simulação de todo processo construtivo evitando possíveis retrabalhos.
Eficiência Energética	Durante a fase de planejamento dos empreendimentos diversos métodos confiáveis são simulados e verificados quanto à eficiência energética. A utilização de um RDF (Resource Description Framework) pode determinar efetivamente os dados de energia específicos da construção.

Fonte: Adaptado de Wang, Pan e Duo, 2019

A aplicação desses conceitos gera o chamado Ambiente Sustentável de Construção. (WANG, PAN, DUO, 2019)

Com as áreas de atuação estabelecidas o estudo se direciona agora aos modelos de integração que poderão ser feitos. Esses modelos são baseados nas referências mais relevantes e variam dependendo do objetivo e da hierarquia que cada tecnologia desempenha no processo.

Tabela 5 – Modos de aplicabilidade BIM-SIG

MODOS DE INTEGRAÇÃO	DESCRIÇÃO
Modo 1 – BIM como recurso principal com suporte do GIS	Por exemplo, no campo do patrimônio arquitetônico, um banco de dados de edifícios e sítios históricos é estabelecido principalmente pelo BIM, e o ambiente imersivo de edifícios históricos pode ser explorado para reconstrução digital, preservação e interação. Um modelo GIS é usado para fornecer dados adicionais. Além disso, a tecnologia de entrega integrada baseada em BIM pode ser usada para gerenciamento inteligente de sistemas MEP nas fases de operação e manutenção, por meio do qual um algoritmo para converter informações BIM em mapas GIS é usado para digitalizar relacionados a MEP informações e integrá-las em um modelo as-built
MODO 2 – GIS como recurso principal com suporte do BIM	O GIS pode fornecer projetos participantes com dados espaciais sobre projetos de construção, e ser causa da interoperabilidade das informações de dados de outro modelling software, como dados BIM, as informações dos dados podem ser diretamente importado para um GIS [15]. Por exemplo, um GIS pode ser usado para planejamento espacial antes da construção para facilitar a modelagem do terreno e diferentes tipos de análise geoespacial e gerenciamento de banco de dados, e a adição de modelos BIM pode

MODO 3 - BIM e GIS igualmente envolvidos	simular o profissional de construção cesso ligando cronogramas de execução com modelos tridimensionais visualizar a sequência de construção e garantir a segurança. Para conseguir a interoperabilidade entre os modelos BIM e GIS, são geradas regras de mapeamento entre o IFC e o CityGML, que representam aplicações em dois domínios diferentes, para garantir um mapeamento preciso entre os dois modelos e conseguir a integração dos modelos [25]. Para resolver problemas práticos, como a execução de modelagem de energia em escala comunitária, precisamos integrar dados sobre os tamanhos de comunidades urbanas derivadas de modelos GIS e edifícios individuais derivados de modelos BIM.
---	--

Fonte: Wang, Pan e Duo, 2019

O desenvolvimento da interoperabilidade perfeita entre os sistemas é denominado City Information Modeling (CIM). De acordo com Amorim (2016, p.486) o “SIG e o BIM, deverão convergir visando a total compatibilidade entre eles nos próximos anos” e isso representará o ponto inicial para “as estruturas de dados e as plataformas de software que viabilizarão as futuras aplicações de Modelagem da Informação da Cidade através das ferramentas CIM”.

4.2 City Information Modeling (CIM)

O *City Information Modeling* é um assunto bastante recente no mundo. Com o advento das *Smart Cities* e o maior desenvolvimento dos softwares baseados em BIM e SIG, o CIM vem se tornando cada vez mais realidade.

Os autores Almeida e Andrade (2018, p.27) exemplificam importantes aspectos relacionados ao CIM, destacando o termo “colaboração”.

A tônica do conceito aqui proposto de CIM reside no termo ‘colaboração’. Na prática, a colaboração está intrinsecamente relacionada à comunicação e interoperabilidade, e para que estes se realizem com maior eficiência é imprescindível haver concordância entre as bases de informação adotadas. Retoma-se aqui, portanto, a relevância da abordagem ontológica sobre a modelagem de informação da cidade.

Logo, define-se que o CIM vem para integrar os dados urbanos das *Smart Cities* e, posteriormente, modelá-los, fazendo com que se diferencie de uma cidade fragmentada. (ANDRADE, ALMEIDA, 2017).

Para efeitos de definição e conceituação o presente trabalho propõe, baseado na literatura relevante, os seguintes preceitos:

Tabela 6 – Definição de CIM por autor

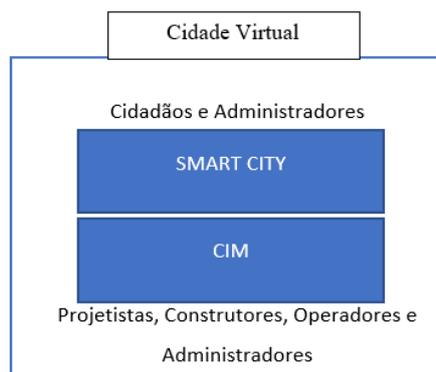
AUTORES	DEFINIÇÃO
Almeida & Andrade (2019)	Um modelo de conhecimento baseado em computação envolvendo processos, políticas e tecnologias e que permite que múltiplas partes interessadas colaborem no desenvolvimento de uma cidade sustentável, participativa e competitiva
Thompson Et Al. (2016)	[...] uma abordagem transversal e holística para a geração de modelos de dados espaciais nos quais a integração, a aplicação e a visualização dos dados da cidade são utilizadas para gerir e mediar a demanda por terras, propriedades e recursos ambientais; tem como objetivo equilibrar as necessidades das várias partes interessadas, com a finalidade de proporcionar cidades sustentáveis e habitáveis onde os cidadãos desempenham um papel importante em sua governança.
Beirão (2011)	[...] uma plataforma para projeto, análise e monitorização de cidades. Congrega informação georreferenciada com ferramentas de análise e projeto especializadas. As ferramentas de projeto são generativas para permitir a geração de cenários de transformação. As ferramentas de análise associadas às ferramentas de projeto permitem analisar (calcular) indicadores de apoio à decisão avaliando objetivamente as qualidades das soluções geradas
Correa & Santos (2015)	Constitui num novo paradigma para se pensar, planejar, construir, operar e gerenciar os ativos de uma cidade. As informações referentes aos ativos devem estar devidamente representadas num modelo tridimensional e georreferenciadas, e devem servir de base para o planejamento da expansão ou recuperação dos espaços públicos, para a manutenção preventiva da infraestrutura, e como base para simular cenários com novas políticas públicas. As ferramentas computacionais associadas ao CIM constituirão uma plataforma para a transformação da cidade numa Smart City ou Cidade Inteligente
Gil, Almeida & Duarte (2011)	Um sistema baseado em um método de projeção urbano que integra as etapas de formulação, geração e avaliação de projetos urbanos apoiados sobre a plataforma CAD e GIS.
Silva et al. (2017)	Uma extensão do BIM aplicada a bairros ou cidades inteiras. Seu objetivo geral é possibilitar a integração de modelos elaborados em plataformas BIM, de modo a criar uma réplica digital da cidade, que poderá ser utilizada como base para a realização de análises e simulações sofisticadas

Fonte: Elaboração do autor, 2020

Conclui-se que o CIM pode representar uma parte integrante no modelo das *Smart Cities*, pois a união BIM e SIG permite alcançar uma eficiência completa de todos os sistemas de infraestrutura urbana e, também, dos processos relacionados e dependentes dessa infraestrutura. Outro ponto importante é a compatibilização tecnológica que o CIM pode fazer com outras tecnologias de informação e comunicação (TIC), que são a essência nos desenvolvimentos das *Smart Cities*. (AMORIM, 2015)

Pretendendo reproduzir de maneira simplificada o conceito da aplicação do CIM nas *Smart Cities* é proposto o seguinte modelo (Figura 5) que é baseado nos estudos de Amorim (2015) e retrata de maneira exata como a compatibilização deverá ser entendida.

Figura 5 – Modelo Integração Smart City-CIM



Fonte: Adaptado de Amorim (2015)

4.3 Principais dificuldades relacionadas a integração BIM-SIG

Atualmente o maior desafio para a aplicação da interoperabilidade entre BIM e SIG é a convergência entre as informações, que por serem feitas em diferentes padrões, possuem o risco de perdas e falhas na hora de importar e exportar os dados. (DERITTI, 2018)

A linguagem padrão utilizada pelos sistemas SIG é a *Geography Markup Language* (GML), que é padronizada pela ISO 19136:2007. De acordo com Correa e Santos (2015, p.9) a GML é “uma codificação em XML para o transporte e armazenamento de informações geográficas incluindo propriedades espaciais e não-espaciais de características geográficas”. Inseridas na GML estão as InfraGML e CityGML, que dizem respeito a modelagem de infraestruturas e pontes. (CORREA, SANTOS, 2015)

A linguagem adotada pelos softwares BIM é o Industry Foundation Classes (IFC), que é definido por Correa e Santos (2015, p.4) como “um modelo de dados que procura representar todos os componentes ou objetos relevantes ao ambiente construído.” Ele possibilita a transição dos modelos entre os diversos softwares BIM que existem no mercado. Ainda de acordo com o autor a linguagem “consiste em 766 entidades, que vão desde a caracterização do local a ser empreendido até os elementos que representam paredes e janelas de uma edificação.”

Ambos os sistemas conseguem ser eficientes e sofisticados em suas propostas, porém algumas diferenças que dificultam a comunicação entre si.

Tabela 7 – Comparação entre IFC e CityGML

IFC	CityGML
Objetos semânticos focam na construção e no projeto das edificações, provendo assim elementos da construção tais como vigas, lajes e paredes, que tipicamente ocupam a fronteira entre ambientes distintos e simultaneamente são parte da fronteira exterior da edificação.	Descreve como os edifícios são observados e usados e assim os objetos parede e teto são definidos para um ambiente único
Representação geométrica: csg	Representação geométrica: B-Rep
Foco na edificação	Objetos relacionados à transporte, terreno, ou recursos hídricos
Apenas um lod (apesar de poder conter Mais de uma representação geométrica)	Representação multi-resolução

Fonte: Correa e Santos (2015)

Mesmo com esse desafio posto, conforme Wan, Pan e Luo (2019), alguns estudos referentes ao tema se mostraram bastante promissores na utilização da linguagem IFC do BIM sendo convertida em um modelo superficial GIS através de transferência de informações geométricas e semânticas de alto nível obtidas do BIM para um ambiente geoespacial.

Os mesmos autores revelam que diversos desenvolvedores estão trabalhando atualmente no desenvolvimento de um modelo de construção unificado que incorpore o CityGML e o IFC. (CORREA, SANTOS, 2015; WANG, PAN, LUO, 2019)

Outro ponto que auxiliaria nesse sentido é o “estabelecimento de uma conceituação comum de CIM que tornaria possível que várias pesquisas e plataformas em desenvolvimento dialogassem com bases em comum e que emergências fossem abordadas de forma sistêmica” (ALMEIDA, ANDRADE, 2018)

5 CONCLUSÃO

É notório que o GIS pode representar a solução para as limitações da aplicação do BIM e vice-versa. As tecnologias em conjunto podem desempenhar um grande passo para a constituição de uma Cidade Inteligente, onde é possível a coleta, o gerenciamento e a análise de informações espaciais em diferentes níveis (Infraestrutura Urbana e Construções Verticais). (WANG, PAN, LUO, 2019)

Atualmente já existe a ISO (International Organization for Standardization) 19166 (B2GM) que estudará a integração BIM-SIG, abordando pontos como o desenvolvimento de mapeamento e regras para fluxo de informações entre o SIG e a linguagem IFC utilizada no BIM. (JANECKA, 2019)

Espera-se que com essa padronização a comunicação entre os softwares dos dois sistemas seja simplificada e de fácil acesso. Isso permitirá o desenvolvimento de projetos de infraestrutura com um alto nível de detalhamento e sofisticação, integrados a tecnologias de informação (TIC) e sistemas de big data, processos que são imprescindíveis para as *Smart Cities*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F., ANDRADE, M. L. **A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana**. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. 371-383.10.5151/engpro-tic2015-034. 2015
- ALMEIDA, F.; ANDRADE, M. L. Considerações sobre o conceito de City Information Modeling. **InSitu**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 21-38, jan/jun 2018.
- AMORIM, A. L. Cidades Inteligentes e *City Information Modeling* Smart Cities and City Information Modeling. **SIGraDi 2016: XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**, Buenos Aires, 09-11, November 2016.
- AMORIM, A. L. DISCUTINDO *CITY INFORMATION MODELING* (CIM) E CONCEITOS CORRELATOS. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, Salvador, v. 10, n. 2, p. 87-99, jul.-dez. 2015.
- ANDRADE, M. L. V. X. d. (2012). **Projeto Performativo na Prática Arquitetônica Recente: Estrutura Conceitual**. (PhD), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- ANDREWS, C. GIS and BIM Integration Leads to Smart Communities. **Focus**, [s. l.], p. 16-19, 2018. Disponível em: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/gis-and-bim-integration-leads-to-smart-communities/>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (Brasil). Fundamentos BIM. **Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras**, [s. l.], v. 1, 2016. E-book (124 p.).
- CORREA, F. R.; SANTOS, E. T. Na direção de uma modelagem da informação da cidade (CIM). In: Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, 7, 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- COSIDO, O.; LOUCERA, C.; IGLESIAS, A. Automatic calculation of bicycle routes by combining meta-heuristics and GIS techniques within the framework of smart cities. **Article**, [s. l.], 2013.
- DEOGAWANKA, S. **How GIS Supports the Planning and Development of Smart Cities**. GIS Lounge, fevereiro de 2016. Disponível em: <https://www.gislounge.com/how-gissupports-the-planning-and-development-of-smart-cities/>
- DERITTI, M. D. O SURGIMENTO DO CONCEITO CIM ATRAVÉS DA INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E GIS E SUA IMPORTÂNCIA PARA AS SMARTS CITIES. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Curitiba, ed. 13, p. 1-10, set 2018.
- EASTMAN, C. M., Sacks, R., & Lee, G. (2004). **Functional modeling in parametric CAD systems**. Paper presented at the Generative CAD Conference, Carnegie Mellon, PA, USA.
- JANECKA, K. Standardization supporting future smart cities – a case of BIM/GIS and 3D cadastre. **GeoScape**, Jan Evangelista Purkyně University in Ústí nad Labem, v. 13, n. 2, p. 106-113, 2019.
- LETAIFA, B. S., How to strategize smart cities: Revealing the SMART model, **Journal of Business Research** (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.01.024>
- MARZOUK, M.; OTHMAN, A. Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS. **Sustainable Cities and Society**, Cairo, Egypt, v. 57, p. 1-14, 2020.

MONTENEGRO, N., BEIRÃO, J. N., & DUARTE, J. P. (2011, 21-24 September 2011). **Public Space Patterns: Towards a CIM standard for urban public space**. Paper presented at the 29th eCAADe Conference, Ljubljana, Slovenia.

NAIDU, D. S. GIS Applications to Smart Cities. **International Journal of Advanced Multidisciplinary Scientific Research (IJAMSR)**, India, v. 1, n. 1, p. 5-7, fev. 2018.

NAKAMURA, J. **BIM 360: O QUE É E COMO USAR**. [S. l.]: BuildIn, 2 maio 2019. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/bim-360/>. Acesso em: 20 jan. 2021.

SILVA, J.F. *et al.* Análise conceitual do *Building Information Modeling*-BIM e *City Information Modeling*-CIM e contribuições na construção das cidades sustentáveis. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Universidade Federal Rural de Pernambuco, v. 2, n. 3, p. 341-348, 2017.

THOMPSON, E. M., GREENHALGH, P., MULDOON-SMITH, K., CHARLTON, J., & DOLNÍK, M. (2016). Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors. **Urban Planning**, 1(1), 16. doi: 10.17645/up.v1i1.556

UNION, I. T. (2015). Focus Group on Smart Sustainable Cities. Retrieved 22/08/2016, 2016, from <http://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx>

WANG, H.; PAN, Y.; LUO, X. Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. **Automation in Construction**, China, v. 103, p. 41-52, 2019.

YANAMURA, S.; FAN, L.; SUZUKI, Y. Assessment of urban energy performance through integration of BIM and GIS for smart city planning. **Procedia Engineering**, Japão, v. 180, p. 1462 – 1472, 2017.