

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**USO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO PARA PLANEJAMENTO DE
GESTÃO E MANUTENÇÃO DE INFRAESTRUTURA URBANA**

PEDRO VERÍSSIMO SOULÉ

SÃO CARLOS – SP
MARÇO / 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**USO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO PARA PLANEJAMENTO DE
GESTÃO E MANUTENÇÃO DE INFRAESTRUTURA URBANA**

PEDRO VERÍSSIMO SOULÉ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof^a. Dr^a Cristiane Bueno

SÃO CARLOS – SP
MARÇO / 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria e Oswaldo, que sempre me deram a base e o apoio necessário para alcançar meus objetivos de vida pessoais, profissionais e acadêmicos.

A minha irmã Fernanda, que sempre esteve presente, participando das decisões importantes da minha vida.

A minha companheira Isabela, que me apoia diariamente em todos os aspectos da minha vida. Que esteve sempre disposta a me escutar fosse sobre as soluções encontradas durante a pesquisa que me brilhavam os olhos ou para desabafar das dificuldades no decorrer do processo. Nos momentos de aperto me deu espaço e ajudou a otimizar meu tempo para que pudesse me focar no desenvolvimento desta dissertação, me ajudando com a rotina corrida de trabalho e estudos.

A Prof. Dra. Cristiane Bueno, que sempre me propôs caminhos quando me sentia confuso em relação aos meus próximos passos, me trazendo ensinamentos e questionamentos que sempre me fizeram crescer como pesquisador.

Ao SeGEF, principalmente a Prof. Dra Luciana e a Arq. Raquel, por disponibilizarem o arquivo que serviu como base para o estudo de caso.

Aos professores, funcionários e amigos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), que fizeram parte dessa caminhada e estarão sempre na minha memória.

A Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que me recebeu em 2010 para minha graduação e voltou a me receber em 2020 para minha pós-graduação.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram na caminhada para o desenvolvimento desta dissertação.

APRESENTAÇÃO DO AUTOR

O autor desta dissertação é engenheiro civil formado pela UFSCar em 2015, que trabalha desde março de 2016 com projetos de loteamento e condomínios residenciais, fazendo parte do departamento de projetos de uma construtora e incorporadora que atua em todo interior paulista, onde atualmente é coordenador de projetos executivos.

As responsabilidades do cargo dentro da empresa o puseram em contato com diversas autarquias e concessionárias de água e esgoto e prefeituras municipais, onde foi possível observar dificuldades recorrentes em todas as gestões. Durante os processos de emissão de diretrizes para novos empreendimentos é usual que os gestores responsáveis não tenham o cadastro ou mesmo uma forma prática de acesso as informações de todas as redes sob sua responsabilidade, o que gera incertezas, atrasos e muitas vezes, decisões infundadas nos processos de negociação com os empreendedores. Os motivos para esse cenário são diversos, que podem inclusive ser políticos, prejudicando a continuidade do trabalho dos técnicos.

Constantemente em convívio com esse contexto surgiu o questionamento de como os processos dentro dessas autarquias/concessionárias e prefeituras poderiam ser melhorados para aumentar a eficiência, diminuindo custos e desperdícios. Com isso, o autor tenta com esta dissertação agregar um pouco do conhecimento adquirido para o debate deste problema. Para o autor, os interesses por trás desse debate são muito maiores que os próprios interesses mercadológicos, sendo importante para o mesmo como engenheiro civil e cidadão que deseja cidades mais eficientes e sustentáveis, e acredita que a ciência é a principal ferramenta para alcançar esse objetivo.

RESUMO

A operação e manutenção dos serviços urbanos devem ser feitas de maneira adequada, de forma que a infraestrutura urbana atinja a sua vida útil prevista. Para isso, é necessária a integração entre as informações dos diferentes atores envolvidos nesses serviços, mas, usualmente isso não ocorre. Além da dificuldade de escala, por se tratar de grandes áreas, o trabalho cooperativo para redes de infraestrutura é muito complexo, pois a responsabilidade da gestão do espaço urbano é compartilhada por diversos atores, sendo que não existe um proprietário responsável pelas tomadas de decisões. O objetivo deste trabalho é investigar e discutir como as ferramentas computacionais com tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) e Sistema de Informações Geográficas (SIG) ou *Geographic Information System* (GIS) podem ser utilizadas de forma integrada para modelagem da informação do espaço urbano na gestão de operação e manutenção da infraestrutura. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi criado um modelo computacional das redes de drenagem e esgoto do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que serviu como estudo de caso de um meio urbano, como um modelo experimental de simulação. O conhecimento adquirido pela revisão de literatura e pelo desenvolvimento do modelo possibilitou a elaboração de uma proposta de protocolos de modelagem que podem ser adaptados e adotados por órgãos públicos, agências e concessionárias que desejam melhorar os seus processos de gestão e manutenção a partir do uso de ferramentas computacionais. Esses protocolos preveem uma abordagem modular para lidar com as grandes escalas urbanas, criando bases BIM independentes para os administradores das redes de infraestrutura e uma base SIG como núcleo para compatibilização de todas essas redes. Foi possível concluir que, considerando o atual estado de desenvolvimento tecnológico, a simples integração BIM-SIG não constitui uma plataforma *City Information Modeling* (CIM). Apesar disso, a integração BIM-SIG se mostrou viável e com um grande potencial de gerar um aumento efetivo de assertividade nos processos decisórios das cidades.

Palavras chave: BIM; SIG; CIM; Building Information Modeling; Sistema de Informações Geográficas; City Information Modeling; gestão de infraestrutura urbana; manutenção de infraestrutura urbana.

Lista de Figuras

Figura 1 - Fluxograma do plano de trabalho.	34
Figura 2 - Quantidade de artigos encontrados em cada base de dados que atendem os requisitos de busca da revisão integrativa da literatura e quantidade de artigos selecionados em cada base de dados em cada uma das etapas de triagem.....	41
Figura 3 – Fluxograma do processo de revisão, diagrama de fluxo PRISMA.	42
Figura 4 - Identificação dos anos de publicação dos estudos utilizados para a revisão.	48
Figura 5 - Identificação dos locais de origem dos estudos utilizados para a revisão.....	48
Figura 6 – Rede de coautoria dos onze artigos selecionados na revisão integrativa da literatura.....	49
Figura 7 - Mapa de palavras chaves utilizadas nos onze artigos selecionados na revisão integrativa da literatura.....	50
Figura 8 - Base do Campus da UFSCar São Carlos.	54
Figura 9 - Sobreposição da imagem de satélite com a base disponibilizada pela SeGEF pelo Civil3D®.....	56
Figura 10 - Modelo do Campus da UFSCar São Carlos criado a partir da utilização da ferramenta Infracad® da Autodesk®.	57
Figura 11 - Superfície exportada do Infracad® para o Civil3D®.....	58
Figura 12 - Representação das redes de infraestrutura enterradas e das caixas de passagem.	59
Figura 13 - Planta do PV para tubos de 600 mm presente no projeto de drenagem de um loteamento residencial em São Carlos, aprovado pela SMOP em 2018.....	63
Figura 14 - Poço de visita para rede de drenagem em loteamento residencial em São Carlos, em execução.....	63
Figura 15 - Visualização tridimensional simplificada das redes de drenagem (azul) e esgoto do modelo (roxo).....	65
Figura 16 - Imagem de satélite da UFSCar identificando as áreas Norte e Sul e o córrego que separa as duas áreas.....	67
Figura 17 – Representação gráfica da rede de drenagem pelo QGIS®, exportada do arquivo AutoCAD®.	68

Figura 18 - Fluxo de trabalho BIM com compartilhamento de informações em base colaborativa SIG em nuvem.....	72
Figura 19 - Fluxograma para desenvolvimento e cadastramento de novas redes de infraestrutura nas bases BIM e SIG pré-estabelecidas.....	74
Figura 20 – Fluxograma para cadastramento de redes de infraestrutura existentes nas bases BIM e SIG.	81

Lista de Quadros

Quadro 1 - Resumo do levantamento das ferramentas computacionais existentes no mercado, desenvolvidas para fluxo de trabalho BIM.....	26
Quadro 2 - Resumo do levantamento das ferramentas computacionais existentes no mercado, desenvolvidas com tecnologia SIG.....	29
Quadro 3 – Resumo do número de artigos por base de dados.	40
Quadro 4 – Resumo da análise dos artigos selecionados na revisão integrativa da literatura.	43
Quadro 5 - Resumo das premissas básicas para modelagem das redes de esgoto e drenagem.	64

Sumário

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	13
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
2.1	BIM como ferramenta de manutenção de patrimônio	15
2.2	Manutenção da infraestrutura urbana e o desenvolvimento sustentável	18
2.3	Utilização de ferramentas BIM e SIG na gestão urbana.....	20
2.4	Levantamento de ferramentas computacionais BIM e SIG.....	25
2.5	Transferência de dados entre ferramentas BIM e SIG	30
3	OBJETIVOS.....	33
4	METODO E PLANO DE TRABALHO	33
4.1	Revisão de Literatura	35
4.2	Análise e definição das ferramentas computacionais de modelagem	37
4.3	Modelagem do Caso de Estudo– Campus da UFSCar em São Carlos.....	37
4.4	Integração BIM-SIG e criação dos protocolos de modelagem e gestão de dados de operação e manutenção.....	39
5	REVISÃO DA LITERATURA	40
5.1	Análise Bibliométrica	48
5.2	Conclusões.....	50
6	ESTUDO DE CASO	53
6.1	Levantamento documental da infraestrutura do campus	53
6.2	Ferramentas BIM e SIG utilizadas na criação do modelo digital	55

6.3	Conferência dos dados disponíveis no arquivo base da SeGEF	55
6.4	Criação da superfície do terreno para modelagem das redes.....	57
6.5	Modelagem das redes de drenagem e esgoto.....	59
6.6	Divisão das redes conforme administradores	66
6.7	Transferência BIM-SIG	67
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
7.1	Necessidade de uma base para integração de dados	71
7.2	Protocolo de modelagem para redes novas	73
7.2.1	Determinação do sistema de coordenadas geográficas.....	75
7.2.2	Definição dos formatos de arquivos BIM e SIG a serem utilizados	76
7.2.3	Informações mínimas exigidas para os modelos BIM e SIG	76
7.2.4	Cadastramento das redes nas bases	79
7.3	Protocolo de modelagem para redes existentes	80
7.3.1	Identificação do cenário atual	82
7.3.2	Desenvolvimento do modelo BIM	83
7.3.3	Cadastramento das redes nas bases BIM e SIG.....	84
8	CONCLUSÃO.....	85
9	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A infraestrutura tem um papel importante no desenvolvimento das cidades, sendo sua manutenção crucial para manter o sistema funcionando de forma adequada e segura (HU e LIU, 2020). A manutenção das infraestruturas requer uma grande quantidade de atividades complexas, envolvendo vários agentes e requisitando de muitos recursos (HU e LIU, 2020). Isso faz com que os processos decisórios e operacionais não fiquem na responsabilidade de apenas um administrador.

Drenagem pluvial, sistema viário e limpeza pública são, usualmente, de responsabilidade do poder público municipal, enquanto que outros serviços como energia elétrica, iluminação pública, abastecimento de água e coleta de esgoto sanitário, normalmente, ficam sob a responsabilidade de autarquias/concessionárias (AMORIM, 2016). Esse cenário cria um quadro constituído por múltiplos agentes operacionais, sendo que para a realização de suas respectivas atividades são empregadas diferentes plataformas computacionais e sistemas com baixo nível de integração (AMORIM, 2016).

A partir dessa conjuntura, a presente pesquisa inicia-se com uma reflexão crítica sobre como integrar essas informações dos diferentes setores envolvidos na gestão de operação e manutenção da infraestrutura urbana de maneira a melhorar seus processos de trabalho e seus resultados.

Os avanços das tecnologias de informação e comunicação digital permitiram a criação de uma nova interpretação dos métodos modernos de gestão e desenvolvimento da infraestrutura urbana, garantindo uma integração eficiente e o desenvolvimento de seus elementos (SYCHEVA; BUDAGOV; NOVIKOV, 2020). O uso de ferramentas com tecnologia de informação e comunicação pode melhorar a qualidade de vida e a eficiência dos serviços urbanos, ao mesmo tempo em que pode atender as necessidades das gerações atuais e futuras, sem prejudicar os componentes econômicos, sociais e ambientais da cidade (SYCHEVA; BUDAGOV; NOVIKOV, 2020).

Esta pesquisa pretende trazer uma contribuição para os futuros estudos e os serviços públicos que pretendem melhorar os processos de gestão de operação e manutenção da infraestrutura urbana, através de ferramentas computacionais que possam permitir maior precisão no processo de identificação de problemas, permitindo ações de manutenção de maneira mais assertiva, reduzindo gastos para os municípios e melhorando a qualidade do

serviço público para a população. Segundo Dantas, Souza e Melo (2019), é possível ter essa melhoria através do uso de ferramentas computacionais munidas com tecnologias *Building Information Modeling* (BIM) e *Geographic Information System* (GIS) ou Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

BIM é uma mudança tecnológica e processual no gerenciamento de dados ao longo do ciclo de vida de um edifício (SUCCAR, 2009), que apesar de ter sido o centro do desenvolvimento da construção civil nas últimas duas décadas, não existem muitas pesquisas que tratam da utilização dessa plataforma para a gestão e o desenvolvimento dos meios urbanos e das cidades (MARZOUK e OTHMAN, 2020).

Por outro lado, segundo Almeida e Andrade (2015), o SIG é a plataforma com maior tendência de aplicação nos órgãos públicos, e sua integração com o BIM permitiria deter maior controle da execução e manutenção das redes de infraestrutura instaladas nos meios urbanos.

O trabalho em conjunto dessas ferramentas, a partir da integração de dados BIM e SIG, é um método de modelagem amplamente utilizado para a criação de plataformas *City Information Modeling* (CIM) (XU et al., 2021). Xu et al. (2021), definem CIM como um modelo de cidade tridimensional baseado em dados de informações da cidade com um estrutura colaborativa multidisciplinar. Autores como Amorim (2016) e Stojanovski (2013), afirmam que o CIM pode ser definido de forma análoga à terminologia BIM, relacionando o CIM para as cidades da mesma maneira que o BIM está para as edificações. Apesar disso, Amorim (2016) explica que o conceito de CIM não está definido e que existe uma necessidade de definir um conceito único para essa ferramenta.

Segundo Dantas, Souza e Melo (2019), o uso de ferramentas de modelagem da informação, como o BIM e o CIM, podem melhorar os processos de gestão e manutenção de redes de infraestrutura a partir de uma base de dados centralizada. De maneira semelhante, Xu et al. (2021) afirmam que o CIM pode fornecer uma plataforma de simulação para planejamento e projeto urbano, ajudando a gerenciar serviços públicos para melhorar a operação e manutenção das cidades.

Souza e Bueno (2019) atestam que o campo de pesquisas futuras para o CIM é muito amplo, com grande quantidade de oportunidades e desafios, devido ao baixo número de artigos existentes e poucas aplicações práticas, quando comparado com temas relacionados

de pesquisas, como o BIM e o SIG separadamente. Os autores (SOUZA e BUENO, 2019) afirmam que as pesquisas relacionadas ao CIM são de grande importância para o futuro das cidades, pois a utilização dessa ferramenta pode melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas.

Com isso, esta pesquisa pretende analisar como a criação de um modelo, a partir das plataformas BIM e SIG, poderia ser aplicável na gestão de operação e manutenção da infraestrutura urbana e analisar as potencialidades e limitações deste modelo na gestão de operação e manutenção das redes a partir da centralização das informações em comparação com o formato atual da realidade da maioria dos municípios brasileiros, em que, segundo Almeida e Andrade (2015), esses têm seus dados e informações organizados de forma setorizada e desarticulada.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nesta seção são apresentados os referenciais teóricos utilizados para a contextualização deste trabalho, podendo ser sintetizados em alguns temas principais, como levantamento e discussão das potencialidades da aplicação de BIM com SIG na modelagem e gestão de infraestrutura urbana; aplicações existentes da modelagem da informação em infraestrutura urbana, discutindo as potencialidades e limitações encontradas; levantamento das ferramentas computacionais aplicáveis, descrevendo suas potencialidades e limitações de aplicação e integração.

2.1 BIM como ferramenta de manutenção de patrimônio

Para Sacks et al. (2018), a Modelagem da Informação da Construção (BIM) é a expressão de uma transformação digital. O BIM não muda apenas como o desenho e a visualização da edificação são criados, a utilização da plataforma BIM altera todos os processos que envolvem da concepção até o ciclo de vida de uma edificação, facilitando a integração e mudando a relação nas funções entre as equipes responsáveis pelos projetos e pela construção, fornecendo a base para novos recursos de projetos criando modelos virtuais da edificação com precisão geométrica e com uma precisa fonte de dados necessários para construção, resultando em edificações de melhor qualidade com custos menores (Sacks et al., 2018).

BIM pode integrar uma ampla gama de fluxos de informação de sistemas interdepartamentais de forma a alinhar decisões sobre gestão e manutenção com o desempenho organizacional (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019).

Usualmente, as equipes de manutenção de instalações utilizam representações bidimensionais (2D) para obter as informações para os serviços, sendo um processo demorado e pouco preciso (WEIWEI et al., 2018). Segundo Thompson et al. (2016), a tecnologia BIM permite que dados geométricos digitais em 3D sejam ligados a informações relativas a material, preço, dimensões, dentre outras, possibilitando a criação de uma edificação virtual. Esse processo faz com que o desenvolvimento, a avaliação, a construção e a gestão de do ciclo de vida de uma edificação sejam melhorados (THOMPSON et al., 2016).

O processo de manutenção de um ativo deve estar estrategicamente dirigido ao longo de todo o ciclo de vida desse ativo, incluindo o planejamento e aquisição, manutenção e descarte ou substituição. A manutenção do patrimônio do setor público deve buscar garantir a melhor relação custo-benefício dos ativos no atendimento as necessidades estratégicas das organizações do setor público, além de implicar um processo de orientação estratégica para garantir que a otimização dos ativos de uma organização apoie seus principais negócios metas e objetivos (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019).

Finch, Jones e Sharp (2007) afirmaram que muitas organizações veem a manutenção de ativos construídos como um custo, em vez de uma adição de valor para a organização. Uma razão para isso pode ser associado à falta de evidências e ferramentas de negócios para alinhar atividades de manutenção com desempenho organizacional.

Inicialmente o BIM foi introduzido para resolver problemas das fases de projetos e construção, a partir de uma comunicação aprimorada, servindo como uma ferramenta para mitigar problemas como falta de produtiva, assertividade em custo e planejamento, qualidade da construção e previsões de incompatibilidades (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019). O BIM possui potencial para ser uma importante ferramenta de tecnologia da informação e comunicação no auxílio da manutenção ao longo da vida útil de uma construção, porém no pós obra o BIM tem sido mais utilizado apenas nos estágios iniciais do ciclo de vida da construção (WANIGARATHNA et al., 2019).

Weiwei et al. (2018) afirmam que devido à falta de integração de dados, mais de 80% do tempo gasto durante as fases de operação e manutenção são usados para buscar

informações relevantes. A utilização do BIM poderia reduzir esse tempo consideravelmente, a partir da coleta de dados em um sistema de informações abrangente relacionados à construção, como informações geométricas e semânticas (WEIWEI et al., 2018). Para que o BIM possa ser utilizado como uma importante ferramenta durante as operações de manutenção é necessário que na fase de projetos sejam previstas informações como especificações, histórico de manutenções e lista de profissionais especializados sobre os ativos (MOTAWA e ALMARSHAD, 2013).

Sistemas computadorizados de gerenciamento de manutenções e instalações já são utilizados para atividades de gestão de ativos, a partir de programações, registro e controle de atividades de manutenção e operação, geração e solicitações de serviços, orçamento e contabilidade de instalações, entre outros (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019). Esses sistemas podem ser melhorados a partir da integração com ferramentas computacionais como o BIM, capazes de fornecer diagnósticos do sistema, raciocínio de decisão e coleta e transferências de dados entre sistemas (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019). Weiwei et al. (2018) propuseram uma integração entre BIM e os sistemas de manutenção de instalações de edificações, por meio de um gerenciamento de tarefas por modelos BIM, facilitando a integração de dados, permitindo agendamento automático de ordens de serviço de manutenção e fornecendo o planejamento de melhores rotas de serviço.

O BIM pode ser uma importante ferramenta para auxílio na manutenção de ativos construídos em que há necessidade de processar grandes conjuntos de informações complexas, utilizando alimentação de dados múltiplos por meio de diferentes partes interessadas (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019).

Modelos BIM podem fornecer um armazenamento de informações rico e centralizado para facilitar a recuperação e transferência de dados entre diferentes sistemas de tecnologia da informação e comunicação usados para manutenção de ativos (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019). O BIM pode ajudar a organizar grandes volumes de dados, melhorando a eficiência das atividades de manutenção de ativos, reduzindo o processamento manual de transferência de informações, aumentando a precisão dos dados, apoiando as tomadas de decisões orientadas para manutenção de ativos (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019).

Além do acesso às informações referentes à construção, para os processos de manutenção também é importante difundir conhecimentos obtidos durante investigação das causas de falhas, razões da escolha dos métodos de manutenção e as consequências dessas ações sobre outros elementos da construção (MOTAWA e ALMARSHAD, 2013). A partir dessa adversidade, Motawa e Almarshad (2013) utilizaram o BIM para fornecer um sistema integrado de informações a partir da captura e recuperação dos conhecimentos adquiridos durante os processos de manutenção, visando à transmissão dos conhecimentos relevantes para ajudar as equipes de manutenção a aprender com as experiências anteriores e rastrear o histórico completo de um elemento de construção.

Os problemas que impedem a implementação do BIM raramente são técnicos, normalmente estão mais relacionados a questões de gestão e pessoas (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019). Para que o BIM possa ser utilizado em todo seu potencial para as atividades de gestão e manutenção é necessário que as práticas de trabalho mudem, as disciplinas individuais e os regimes de dados proprietários devem ser revertidos para práticas interdisciplinares, baseadas em dados compartilhados em que modelos de informação prevaleçam (WANIGARATHNA; JONES; BELL; KAPOGIANNIS, 2019).

2.2 Manutenção da infraestrutura urbana e o desenvolvimento sustentável

Hu e Liu (2020) apontam que a infraestrutura tem um papel importante no desenvolvimento sustentável e a sua manutenção é crucial para manter o sistema funcionando de forma adequada e segura. Porém, o processo de manutenção das infraestruturas não é simples, requer uma grande quantidade de atividades complexas, envolvendo vários agentes e requisitando de muitos recursos (HU e LIU, 2020). Nesse cenário, surge o conceito de e-maintenance, com a intenção de auxiliar os serviços de manutenção reduzindo os potenciais riscos de segurança causado por processos desordenados de manutenção (HU e LIU, 2020).

O conceito de e-maintenance se refere à integração das tecnologias de informação e comunicação atendendo as necessidades de suporte para as estratégias e planos de manutenção (HU e LIU, 2020). A partir da internet é possível que qualquer administrador, operador ou especialista faça um diagnóstico, conserte, monitore e colete dados remotamente às redes, reduzindo a quantidade de mão de obra necessária e a complexidade das operações de manutenção, além de auxiliar as tomadas de decisões (HU e

LIU, 2020). A aplicação do e-maintenance para infraestrutura urbana é um desafio, devido a sua grande escala, diversidade e complexibilidade (HU e LIU, 2020).

Olazabal et al. (2010), mediante um estudo prospectivo para identificar os principais desafios, critérios e indicadores para a gestão sustentável do território, apresentaram uma abordagem integrada ao gerenciamento espacial sustentável com base no desenvolvimento de um sistema integrado de apoio à decisão, para gestores territoriais que lidam com a implementação de estratégias e planos em nível regional e local. Foram utilizadas ferramentas com tecnologia SIG para criação de mapas, visualização, gerenciamento, processamento e análise dos dados. A elaboração de um modelo conceptual a partir de sessões participatórias e de técnicas de dramatização para identificar demandas e necessidades, constatou que os serviços de infraestrutura urbana são fatores importantes na avaliação de sustentabilidade, tanto para o fornecimento de serviços existentes como para novas demandas (OLAZABAL et al., 2010).

Sohail, Cavill e Cotton (2005) definiram que a operação e manutenção dos serviços urbanos são sustentáveis se a infraestrutura urbana atingir sua vida útil (VUP). A operação adequada dos serviços refere-se às atividades envolvidas na prestação de um serviço, depende dos usuários e provedores, usando as facilidades e os equipamentos com cuidado para garantir a VUP dos serviços e reduzir as necessidades de manutenção, que são referentes às atividades que garantem que a infraestrutura permaneça em condições de serviço, abrangendo manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção de crises (SOHAIL; CAVILL; COTTON, 2005).

As tecnologias de comunicação e informação digital possibilitaram a criação de uma nova interpretação dos métodos modernos de gestão de desenvolvimento da infraestrutura urbana, garantindo uma integração eficiente e o desenvolvimento dos elementos da infraestrutura urbana (SYCHEVA; BUDAGOV; NOVIKOV, 2020). Para Sycheva, Budagov e Novikov (2020) o uso dessas novas tecnologias é definido como sustentável à medida que, ao mesmo tempo em que melhoram a qualidade de vida e a eficiência dos serviços urbanos, também se preocupam em atender as necessidades das gerações atuais e futuras sem prejudicar os componentes econômicos, sociais e ambientais da cidade.

Dantas, Souza e Melo (2019) em sua análise de como o BIM e o CIM podem ser utilizados para melhorar os serviços públicos e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos

cidadãos e a sustentabilidade das cidades, avaliaram os indicadores do *International Standard ISO 37120 (Sustainable development of communities – Indicatos for city services and quality of life)* e como as ferramentas BIM e CIM poderiam ser utilizadas como uma base de dados para facilitar o acesso aos dados de determinados indicadores. Foi identificado que dos 100 indicadores, o BIM poderia ser utilizado como fonte de dados para 9 e o CIM para 44 indicadores. Dentre os temas que foram identificados com indicadores que são possíveis de serem avaliados a partir da base de dados BIM e CIM, estão os de infraestrutura como energia, resíduos sólidos, telecomunicação e inovação, abastecimento de água, esgoto sanitário e transporte (DANTAS; SOUZA; MELO, 2019).

O uso das tecnologias de informação e comunicação permite a otimização dos processos urbanos a partir da combinação de vários elementos e participantes pela interação por um sistema inteligente, permitindo a previsão de situações e comportamentos individuais das infraestruturas, assim como da cidade como um todo. O desenvolvimento dessas novas tecnologias tem conduzido para uma reinterpretação dos métodos modernos de gestão da infraestrutura urbana (SYCHEVA; BUDAGOV; NOVIKOV, 2020).

2.3 Utilização de ferramentas BIM e SIG na gestão urbana

Uma pesquisa recente concluiu que pesquisas relacionadas ao CIM são de grande importância para o futuro das cidades, pois a utilização dessa ferramenta pode melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas (SOUZA e BUENO, 2019). Essa pesquisa mostrou que o CIM é um movimento mundial, que vem ao encontro de temas impulsionados por eventos globais, como a Agenda do Desenvolvimento Sustentável de 2030. Nessa agenda a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 objetivos de desenvolvimento sustentável econômico, social e ambiental, com o intuito de vencer os desafios urbanos das cidades modernas que atingem diretamente a qualidade de vida da população e que muitas vezes podem ser relacionados com a gestão da infraestrutura urbana das cidades (UNITED NATIONS, 2015). Os autores reforçam que o campo de pesquisas futuras para o CIM é muito amplo, com grande quantidade de oportunidades e desafios, devido ao baixo número de artigos existentes e poucas aplicações práticas, quando comparado com temas relacionados de pesquisas, como o BIM e o SIG separadamente (SOUZA e BUENO, 2019).

Além da justificativa técnico-científica apresentada vale pontuar a justificativa amparada na legislação federal para o estudo das ferramentas BIM, como o Decreto N°9.983

que estabelece a *Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling no Brasil* (BIM BR), fazendo parte dos seus objetivos a difusão do BIM e a estruturação do setor público para adoção do BIM (BRASIL, 2019). Além desse, o Decreto Nº10.306 “Estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal”, no âmbito da BIM BR (BRASIL, 2020). Esse decreto apresenta 3 fases de implementação do BIM, sendo:

- Primeira fase – define que a partir de 1º de janeiro de 2021, os novos projetos de engenharia e arquitetura deverão utilizar o BIM como ferramenta para elaboração dos modelos referentes às disciplinas de estruturas, instalações hidráulica, elétrica, aquecimento, ventilação e ar condicionado. Dentro desses modelos o BIM também deverá ser utilizado para detecção de interferências, extração de quantitativos e geração de documentação gráfica;
- Segunda fase – define que a partir de 1º de janeiro de 2024, além dos usos previstos na primeira fase, o BIM deverá ser utilizado para orçamentação, planejamento, controle da execução de obras e produção de modelo *as built* (como construído);
- Terceira fase – define que a partir de 1º de janeiro de 2028, além dos usos previstos nas duas fases anteriores, o BIM deverá ser utilizado para o gerenciamento e a manutenção dos empreendimentos após a sua construção.

Apesar do decreto tratar especificamente de BIM, mostra uma tendência do poder público de disseminar as ferramentas de modelagem da informação no uso da construção civil, podendo ser estendido para SIG e CIM. A terceira e última fase do processo de implementação do BIM apresentado pelo decreto fala de “o gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a sua construção” (BRASIL, 2020), mesma área de utilização das ferramentas de modelagem proposta para este trabalho.

Dessa forma, pesquisas relacionadas ao CIM para gerenciamento e manutenção de infraestrutura urbana estão indo de encontro com as demandas atuais e futuras das cidades, mas ainda é necessário que ocorra sua aplicação prática em grande escala.

As limitações do BIM em relação à expansão em grandes escalas desencadearam sua integração com o SIG, com a intenção de superar essas limitações e começar a aproveitar os benefícios do BIM em relação aos processos de desenvolvimento da cidade (MARZOUK e OTHMAN, 2020).

Ferramentas computacionais SIG são propícias para tratar de dados geográficos, podendo representar situações atuais de um ambiente e planejar seu futuro, através da capacidade de gerar novas informações, integrando diversos conjuntos de dados existentes compartilhados em um sistema de referência espacial compatível (XU e COORS, 2011).

Segundo Almeida e Andrade (2015), o SIG é a ferramenta com maior tendência de aplicação nos órgãos públicos de gestão e a sua integração com o BIM possibilitaria a compatibilização automática da infraestrutura urbana e a noção precisa do consumo das demandas a partir de informações extraídas diretamente do modelo. Song et al. (2017) aponta que a integração de plataformas BIM e SIG é uma tendência nova e de rápido desenvolvimento na gestão da indústria da arquitetura, engenharia e construção, pois uniria a robusta fonte de informações geométricas e de dados ao longo do ciclo de vida da construção concedido pelo BIM à geovisualização e modelagem geoespacial aplicável pelo SIG. Além disso, permitiria deter maior controle da execução e manutenção das redes instaladas e permitiria tomadas de decisões mais embasadas (ALMEIDA e ANDRADE, 2015).

Assim, apesar do BIM ter sido desenvolvido para edificações e não para modelo de cidade, aplicar uma abordagem baseada no BIM pode servir de apoio à modelagem da cidade e sua gestão a partir do uso do SIG (THOMPSON et al., 2016).

A integração entre as ferramentas BIM e SIG visaria a criação de uma plataforma CIM adequada a atender as especificidades da gestão das cidades. O CIM pode ser utilizado pelos planejadores urbanos e acadêmicos voltados ao desenvolvimento urbano como atores do mercado (THOMPSON et al., 2016), podendo ser aplicado em todo o ciclo de vida das cidades, incluindo fases de planejamento e projeto, construção, operação e manutenção (XU et al. 2021).

Com a intenção de apontar como os planejadores da cidade podem utilizar o CIM no desenvolvimento da forma urbana e na cidade futura, Thompson et. al (2016) realizaram o estudo de alguns projetos na Inglaterra que utilizaram o modelo integrado para análise de dados. O primeiro projeto foi referente ao valor do metro quadrado para o mercado imobiliário, sendo que em um caso foi produzido um mapa 3D com a indicação da altura das edificações e uma variação de cor para representar o valor do metro quadro dessas edificações. O segundo projeto foi um desenvolvido para visualização do tecido urbano dos assentamentos vizinhos a cidade de Newcastle.

Xu e Coors (2011) propuseram uma abordagem integrada para avaliações de sustentabilidade do desenvolvimento residencial urbano, considerando indicadores de sustentabilidade, equilíbrio da habitação e visualização da edificação através da associação entre um modelo SIG e a visualização tridimensional. Para isso, os autores definiram 24 indicadores entre as áreas econômica, social, habitacional e de meio ambiente para que fossem inseridos no modelo *System Dynamics* (SD). Os indicadores foram definidos a partir dos indicadores já estabelecidos entre 3 organizações internacionais que já trabalham no campo de desenvolvimento sustentável, sendo: *The Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), *The United Nations Commission on Sustainable Development* (UNCSO) e *The European System of Social Indicators* (EUSI). Foi definido um peso para cada indicador a partir de discussões com especialistas das áreas e todos os dados para preenchimento dos valores dos indicadores foram tirados de fontes oficiais. O modelo urbano 3D utilizado na pesquisa de Xu e Coors (2015) foi disponibilizado pelo departamento de topografia da cidade de Stuttgart através de arquivo CityGML com nível 2 de detalhamento. A análise do modelo SD foi feita no ESRI ArcGIS 10 a partir das plantas convertidas do modelo CityGML para ESRI Shapefile. A partir do estudo de caso feito na cidade de Plieningen na região de Stuttgart na Alemanha, foi visto que a integração entre o modelo de *System Dynamics* e a tecnologia SIG, junto com a visualização 3D, pode ser uma importante ferramenta na estratégia de estudo para avaliação de sustentabilidade no processo de desenvolvimento residencial.

Reitz e Schubiger-Banz (2014) fizeram uma análise geral sobre as funcionalidades e algumas potencialidades do ESRI 3D *City Information Model* (3DCIM), ferramenta com proposta CIM, organizada em 3 temas básicos: a edificação, o ambiente legal (uso da terra e propriedade) e o ambiente natural (REITZ e SCHUBIGER-BANZ, 2014). Nesse estudo, Reitz e Schubiger-Banz (2014) reiteraram que 3DCIM simplifica a criação, manutenção e uso de cidades tridimensionais (3D) para usuários do SIG, sendo essa ferramenta compatível com o CityGML. O estudo indicou que o uso de ferramentas computacionais tridimensionais (3D) vai muito além da simples visualização do projeto. Os autores apontaram que o 3DCIM também pode ser utilizado para planejamento urbano, facilidade de gestão, simulações e análises.

Uma grande diferença entre um modelo CIM em relação ao modelo BIM reside no fato de que as decisões sobre o modelo BIM ficam sob a responsabilidade do proprietário do empreendimento, enquanto no CIM esta responsabilidade é compartilhada por diversas agências oficiais e autarquias/concessionárias (AMORIM, 2016).

As cidades possuem muitos agentes envolvidos nos processos decisórios e operacionais, fazendo com que as tomadas de decisões e operações de manutenção não fiquem na responsabilidade de apenas um administrador. Drenagem pluvial, sistema viário e limpeza pública são de responsabilidade do poder público municipal, enquanto serviços como energia elétrica, iluminação pública, abastecimento de água e coleta de esgoto sanitário, geralmente, ficam a cargo de uma autarquia/concessionária (AMORIM, 2016). Esse cenário cria um quadro constituído por múltiplos agentes operacionais, para cujas atividades são empregadas diferentes plataformas e sistemas com baixo nível de integração (AMORIM, 2016). Esse modelo de distribuição de responsabilidade pode variar, mas o importante a ser observado é que, raramente, a gestão das redes de infraestrutura urbana está concentrada em um único órgão.

Um modelo que integrasse as redes de infraestrutura urbana possibilitaria o acesso de diferentes gestores ao sistema e com níveis de comando diferentes. Trisyanti et al. (2019) criaram um modelo digital tridimensional para gestão de edificações por meio de ferramentas BIM e SIG, que era acessado de forma diferente pelos usuários, separados em grupos "público" e "privado". O primeiro grupo poderia apenas visualizar o modelo e acessar informações gerais, e o segundo grupo teria acesso a uma quantidade maior de dados, podendo editar essas informações, além de customizar as aplicações segundo suas necessidades.

Considerando o objetivo deste estudo é possível fazer uma analogia do modelo criado por Trisyanti et al. (2019) para um modelo CIM hipotético de um meio urbano, em que as responsabilidades das redes de infraestrutura urbana ficam a cargo de diferentes atores. Nesse modelo hipotético, a autarquia/concessionária responsável pela rede de distribuição de água teria acesso às informações das redes de drenagem para que fosse possível prever compatibilizações e interferências em possíveis obras de expansão e manutenção das redes de água, porém não teria permissão para editar as informações das

redes de drenagem, uma vez que a responsabilidade por essas redes fica a cargo de outro administrador.

Uma plataforma CIM deve unir um robusto banco de dados com informações geográficas georreferenciadas, conforme feito por SCHIEFELBEIN et al. (2016), na criação de uma ferramenta com foco em sistema de energia estruturado a partir da implementação de um sistema gerenciador de banco de dados aberto, o PostgreSQL, para gerenciamento da base de dados fazendo a ligação dessa base de dados com o QGIS, ferramenta SIG com código-fonte aberto que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

A criação de um modelo CIM que compatibilizasse as redes de infraestrutura urbana de uma cidade traria a integração de informações de responsabilidade distintas para um único modelo, o que poderia facilitar a comunicação entre diferentes administradores, encontrando soluções mais compatíveis e ágeis. A gestão pública do território urbano deve acompanhar as transformações que acontecem na cidade e os impactos dessas transformações. Para isso, o uso de um sistema tecnológico de monitoramento e análise se torna indispensável (ALMEIDA e ANDRADE, 2015).

A revisão de literatura mostrou que não há um conceito único para o CIM (AMORIM, 2016) que seja seguido pelos diversos autores, incluindo sua classificação como ferramenta ou plataforma, que varia segundo os autores. Thompson et. al (2016), define o CIM como uma ferramenta interdisciplinar que procura compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade a partir da criação de um modelo de dados espaciais nos quais integração, aplicação e visualização dos dados da cidade são usados para gerenciar e mediar a demanda por terra, propriedade e recursos ambientais. Thompson et. al (2016) e Amorim (2016), apontam que o CIM pode ser definido de maneira análoga ao BIM, entendendo que o CIM é uma ferramenta de modelagem de informação voltada para cidade, com as mesmas características do BIM, porém, este último, voltado para as edificações.

2.4 Levantamento de ferramentas computacionais BIM e SIG

Existem diversos softwares com tecnologia para atender o fluxo de trabalho BIM, variando a sua finalidade, na maioria das vezes, entre projetos arquitetônicos, estruturais, de instalações, infraestrutura, planejamento e orçamento. O Quadro 1 apresenta o resumo do levantamento das ferramentas computacionais existentes no mercado, desenvolvidas

para fluxo de trabalho BIM, identificando os softwares e seus desenvolvedores e fazendo uma breve descrição sobre algumas de suas principais potencialidades.

Quadro 1 - Resumo do levantamento das ferramentas computacionais existentes no mercado, desenvolvidas para fluxo de trabalho BIM. (continua)

Software	Desenvolvedor	Descrição
Civil3D	Autodesk	Além de possuir as funcionalidades tradicionais do AutoCAD® o software possui ferramentas exclusivas para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura civil, como: Redes de abastecimento de água; <ul style="list-style-type: none"> • Redes de coleta de esgoto; • Redes de drenagem pluvial; • Análises hidrológicas; • Terraplanagem; • Estradas; • Ferrovias.
InfraWorks	Autodesk	Software desenvolvido para as fases preliminares de projetos de infraestrutura urbana, que possibilita criação de projetos de: <ul style="list-style-type: none"> • Rodovias; • Terraplanagem; • Drenagem; • Pontes; • Simulações de tráfego; • Inundações.
Revit	Autodesk	Criado para o desenvolvimento de projetos de edificações, possui ferramentas para desenvolvimento de projetos: <ul style="list-style-type: none"> • Arquitetônicos; • Estruturais; • Elétricos; • Hidráulicos.
ArchiCAD	Graphisoft	Software que utiliza modelagem BIM para projetos de arquitetura e sistemas como: <ul style="list-style-type: none"> • Edificações; • Urbanismo; • Hidráulica; • Elétrica; • Iluminação; • Paisagismo; • Interiores.
Architecture	Allplan	Voltado para projetos de modelos arquitetônicos de edificações, possui funções como: <ul style="list-style-type: none"> • Modelagem tridimensional; • Renderização; • Criação de terrenos;

Software	Desenvolvedor	Descrição
		<ul style="list-style-type: none"> Componentes arquitetônicos e estruturais;
Structural Engineering	Allplan	<p>Criado para desenvolvimento de modelos estruturais a partir de modelagem tridimensional e fluxo de trabalho BIM, permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> Dimensionamento de armação; Análise de esforços; Tecnologia de reforço Bamtec.
Civil Engineering	Allplan	<p>Desenvolvido para obras civis urbanas, tem potencialidades para desenvolver projetos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Planejamento urbano; Movimentação de terra; Estruturas civis como pontes; Uso do solo.
Edificius	ACCA	<p>Desenvolvido para modelagem de edificações, tem como principais funções:</p> <ul style="list-style-type: none"> Projetos arquitetônicos tridimensionais; Design de interiores; Paisagismo; Nuvem de pontos; Modelagem de instalações; Gerenciamento do tempo do projeto; Extração de dados para orçamento; Renderização; Realidade virtual.
usBIM	ACCA	<p>É um sistema integrado de aplicativos para trabalhar em BIM gerenciando modelos digitais de construções. Suas principais funções são:</p> <ul style="list-style-type: none"> Elaboração de orçamentos online; Colaboração em tempo real; Visualização e gerenciamento de diversos formatos de arquivo; Coordenação de trabalhos; Inclusão de modelos BIM tridimensionais em plataformas SIG.
EdiLus	ACCA	<p>Concebido para análise estrutural de edificações. Opera com sistemas construtivos de diversos elementos, como concreto armado, aço, alvenaria e madeira. Os principais recursos são:</p> <ul style="list-style-type: none"> Modelagem da estrutura; Cálculo estrutural das edificações; Representação gráfica dos resultados; Projetos de armações e fundações;

Software	Desenvolvedor	Descrição
		<ul style="list-style-type: none"> • Produção de documentação de cálculo, executiva e de orçamento.
PriMus	ACCA	<p>Busca atender os planejamentos físico, econômico e financeiro das obras, através de recursos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orçamentos e quantitativos de obra; • Mapa de compras e comparativos de ofertas; • Controle de custos; • Levantamento de quantidades diretamente de modelos BIM com atualização automática conforme atualização do modelo;
Architect	Vectorworks	<p>Software de projetos arquitetônicos para edificações, com tecnologia para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nuvens de pontos; • Realidade aumentada; Fotogrametria; • Importação de projetos hidráulicos, elétricos e estruturais; • Coordenação e integração de trabalhos através de armazenamento em nuvem.
QiBuilder	AltoQI	<p>Para projetos de sistemas de edificações como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Combate a incêndio; • Elétrica; Hidráulico; • Climatização; • Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.
Eberick	AltoQI	<p>Para projetos estruturais em concreto armado, alvenaria estrutural e estruturas mistas, permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visualizar e exportar armaduras em modelos tridimensionais; • Exportar o modelo em realidade aumentada; • Aplicação de forças em túnel de vento; • Incluir quantitativos na exportação IFC.
OpenBuildings Designer	Bentley	<p>Concebido para o desenvolvimento de projetos de edificações, prevendo o trabalho multidisciplinar em um mesmo modelo através de ferramentas para criação de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projetos arquitetônicos; • Projetos estruturais; • Projetos de sistemas elétricos, hidráulicos e mecânicos;
OpenCities Planner	Bentley	<p>Software BIM que também utiliza recursos SIG, baseado em um serviço de nuvem, não sendo necessária instalação, apenas navegador de internet para utilização. Permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criação e visualização de projetos de cidades em

Software	Desenvolvedor	Descrição
		<p>grande escala a projetos arquitetônicos detalhados;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizar o ambiente real.

Fonte: O Autor

O levantamento mostrou que as ferramentas BIM mais utilizadas e conhecidas são todas desenvolvidas por empresas privadas com fins lucrativos, sendo assim, todas as ferramentas têm custo financeiro para uso.

Por outro lado, o levantamento das ferramentas computacionais com tecnologia SIG mostrou um grande número de ferramentas gratuitas e de código fonte aberto, sendo algumas criadas por comunidades e centros de pesquisas. As ferramentas SIG têm muitas semelhanças de funcionalidades, tendo a análise de dados a partir da criação de mapas como principal atribuição. A grande diferenciação entre as ferramentas é a quantidade de recursos e potencialidades que essas têm para fazer análises de dados complexos. O Quadro 2 apresenta o resumo do levantamento das ferramentas computacionais existentes no mercado desenvolvidas com tecnologia SIG, identificando os softwares e seus desenvolvedores e fazendo uma breve descrição sobre algumas de suas principais potencialidades.

Quadro 2 - Resumo do levantamento das ferramentas computacionais existentes no mercado, desenvolvidas com tecnologia SIG.

(continua)

Software	Desenvolvedor	Descrição
ArcGis	Esri	<p>Software de processamento geoespacial, capaz de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criar modelos analíticos a partir de mapas; • Criar e projetar mapas bi e tridimensionais; • Gerenciar informações geográficas.
QGIS	Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)	<p>Software livre e de código aberto desenvolvido para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visualizar, gerir, editar e analisar dados a partir da criação de mapas; • Combinar dados vetorizados e rasterizado em vistas bi ou tridimensionais para análises complexas.
MapInfo Professional	Pitney Bowes	<p>Aplicativo de mapeamento e análise geográfica, que permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Criação de mapas personalizados; • Produção de tabelas e gráficos; • Importação e exportação de dados em diversos formatos;

Software	Desenvolvedor	Descrição
		<ul style="list-style-type: none"> • Publicação de mapas interativos online.
gvSIG	Conselleria d'Infraestructures i Transports da Comunidade de Valência	Software livre e de fonte aberta, desenvolvido para: <ul style="list-style-type: none"> • Armazenar, gerenciar, manipular, processar, exibir e publicar dados e informações geográficas.
SPRING	Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)	Software gratuito e de código aberto, que permite: <ul style="list-style-type: none"> • Análise, edição, manipulação e gerenciamento de dados espaciais; • Modelagem numérica de terreno; Consulta a banco de dados espaciais.
uDig	Refractions Research	Software livre e de código aberto desenvolvido para: <ul style="list-style-type: none"> • Acesso, edição e visualização de dados espaciais.
SAGA GIS	Sourceforce	Software gratuito e de código aberto, que permite: <ul style="list-style-type: none"> • Editar dados espaciais em diversos formatos; • Análises de imagens e terrenos; Importação e exportação de dados.
GRASS	Comunidade	Software livre e de código aberto desenvolvido para: <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento e análise de dados espaciais; • Processamento de imagem; • Produção de gráficos e mapas; • Modelagem espacial.

Fonte: O Autor

O uso conjunto de ferramentas com tecnologia BIM e SIG tem algumas dificuldades, pois modelos de edificações e áreas devem ser salvos em diferentes modelos de dados, se adequando as suas necessidades, sendo edificações em BIM e modelos de áreas em SIG (TRISYANTI et al., 2019). Isso cria uma dificuldade na transmissão de dados entre ferramentas BIM e SIG.

2.5 Transferência de dados entre ferramentas BIM e SIG

A integração inadequada de dados é um problema constante entre os modeladores de informações de construção devido a diferenças na sintaxe, esquema ou semântica (PARN; EDWARDS; SING, 2017). Problemas de interoperabilidade de dados relacionados à integração de dados BIM podem ser parcialmente resolvidos com o uso do *Industry*

Foundation Classe (IFC), proporcionando maior integração entre fornecedores de software BIM (PARN; EDWARDS; SING, 2017).

IFC é um formato de dados neutros que constitui um padrão internacional para BIM, possibilitando o compartilhamento de dados da edificação, independentemente da plataforma de trabalho (AMORIM, 2016). Segundo Amorim (2016), o modelo IFC foi desenvolvido com o intuito de permitir o intercâmbio e o compartilhamento de informações sobre edificações, estando em um constante processo de melhoria, sendo que esta prevista a criação do IFC5 para incorporar a modelagem de elementos de infraestrutura urbana, o que possibilitaria a integração de modelos das edificações com modelos de cidade, viabilizando a constituição dos modelos CIM.

Em seu estudo de caso, Trisyanti et al. (2019) salvou o modelo tridimensional BIM como *Industry Foundation Classe* (IFC) e o resultado do mapeamento da área de estudo foi modelado tridimensionalmente em uma ferramenta SIG capaz de armazenar, representar e gerir modelos virtuais tridimensionais de cidades, a partir de um esquema do banco de dados implementado pelo padrão *City Geography Markup Language* (CityGML).

O CityGML é um padrão internacional aberto que permite o armazenamento da forma e da geometria tridimensional dos objetos, sendo compatível com ferramentas computacionais com SIG (AMORIM, 2016). O CityGML também pode ser definido como um modelo de dados aberto que permite a troca de dados que descrevem os objetos urbanos e paisagísticos, juntamente com seus atributos espaciais e não espaciais, relação e suas estruturas hierárquicas complexas em cinco níveis de detalhe (LoD) (TRISYANTI et al., 2019).

Da mesma maneira, Zhao, Liu e Mbachu (2019) realizaram a transferência de informações do arquivo BIM do seu modelo de redes para o SIG, utilizando o IFC, a partir de adequações que permitem a leitura dessas informações pelo programa, transformando cada objeto tridimensional e carregado de informações das redes em representações gráficas simplificadas para serem representadas no SIG. O processo realizado por Zhao, Liu e Mbachu (2019) é um exemplo de gestão infraestrutura para receber novas redes em ambientes já consolidados, a partir do uso de ferramentas BIM e SIG realizando diversas trocas de dados entre plataformas diferentes.

A implantação de novas redes de infraestrutura urbana em ambientes já estabelecidos tem o desafio de criar o menor impacto possível às redes existentes,

compatibilizando a nova rede sem criar interferências com as redes já instaladas. Isso se deve à dificuldade, ou, muitas vezes, impossibilidade, de fazer alterações nessas redes. Além do processo de compatibilização entre redes, deve ser previsto o impacto ao meio urbano durante as obras de execução da nova rede. Ferramentas computacionais com tecnologia BIM podem ser grandes aliadas para superar esse tipo de desafio, por se tratar de ferramentas com capacidade de identificar interferências durante a fase de projeto de maneira mais simples e direta, a partir da modelagem das redes em três dimensões (3D), dependendo menos da percepção dos projetistas, em comparação com os métodos de projetos em duas dimensões (2D) (ZHAO; LIU; MBACHU , 2019). Entretanto, as ferramentas BIM não foram desenvolvidas para trabalhar em grandes escalas (MARZOUK e OTHMAN, 2020), criando um empecilho para sua utilização em meios urbanos.

Zhao, Liu e Mbachu (2019) utilizaram ferramentas BIM e SIG em conjunto para o projeto de uma nova rede de distribuição de água em um ambiente urbano já consolidado. Nesse projeto, o SIG foi utilizado para retratar as instalações existentes em uma escala geográfica ampla, enquanto o BIM foi utilizado para armazenar e manipular as informações de projeto. Para a criação do modelo tridimensional do estudo, incluindo superfície, edificações existentes e sistemas de tubulação, foram utilizados ArcGIS®, AutoCAD®, Revit® e SketchUp®. A partir do levantamento da área, os pontos foram passados para o AutoCAD e, em seguida, transferidos para o ArcGIS® com as cotas dos pontos, criando uma superfície triangular para representar a superfície real do terreno. As edificações tiveram seus perímetros levantados a partir de imagens aéreas e representadas suas alturas tridimensionalmente no SketchUp®, sendo em seguida exportado para o ArcGIS®. As redes foram preparadas no AutoCAD e exportadas para o Revit®, onde foram modeladas e inseridas as informações dos tubos, sendo na sequência incorporados os dados no SIG utilizando o CityGML/UtilityNetwork, integrando o modelo tridimensional de tubos no ArcGIS®. Para compatibilização da nova rede com as redes existentes, foi feita uma análise topológica com a ferramenta SIG, considerando os fatores de execução existentes, como espaços para equipamentos, material, serviços, construção no geral. Para isso, foram criadas regras para as representações gráficas no SIG, sendo pontos, linhas e áreas, em que cada uma dessas representações correspondia a um elemento da rede hidráulica. Automaticamente, a partir das regras prescritas para o programa, eram identificados e

examinados erros de compatibilização, fazendo com que fosse necessário alterar os locais com esses erros a partir de análises detalhadas. Após a correção, o programa refazia as verificações até que não fossem encontrados mais problemas de compatibilização, estando o projeto pronto para obra. A utilização das ferramentas BIM e SIG de forma complementar permitiu a geração de um modelo tridimensional completo de informações e que previsse os conflitos, permitindo seus ajustes, antes da execução da obra da nova rede de água potável (ZHAO; LIU; MBACHU, 2019).

Apesar das diferenças entre as plataformas, a integração BIM e SIG é viável e seu uso pode trazer vantagens significativas para a gestão de redes de infraestrutura urbana, sendo que diversos autores (ALMEIDA e ANDRADE, 2015; AMORIM, 2016; MARZOUK e OTHAMN, 2020; SONG et al., 2017; ZHAO; LIU; MBACHU, 2019) já apontaram a integração entre essas plataformas como importante ferramenta para a gestão das cidades

3 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é investigar e discutir como as ferramentas computacionais com tecnologia BIM e SIG podem ser utilizadas de forma integrada para modelagem da informação do espaço urbano, a partir de um estudo de caso e da criação de protocolos com foco na gestão de operação e manutenção da infraestrutura urbana.

O objetivo secundário, que deu suporte ao objetivo principal, é o mapeamento de aspectos relativos às potencialidades de plataformas BIM para manutenção de infraestrutura urbana, visando entender o estado do conhecimento para servir de base na seleção de ferramentas BIM e SIG para serem integradas no desenvolvimento do estudo de caso.

4 METODO E PLANO DE TRABALHO

O método científico aplicado ao presente projeto de pesquisa une uma pesquisa qualitativa e exploratória, realizada na primeira etapa, ao estudo de caso de um modelo experimental de simulação e desenvolvimento de protocolos de modelagem e gestão de dados de operação e manutenção, que corresponde à segunda etapa do estudo.

A primeira etapa desta pesquisa consistiu:

- na revisão integrativa da literatura;

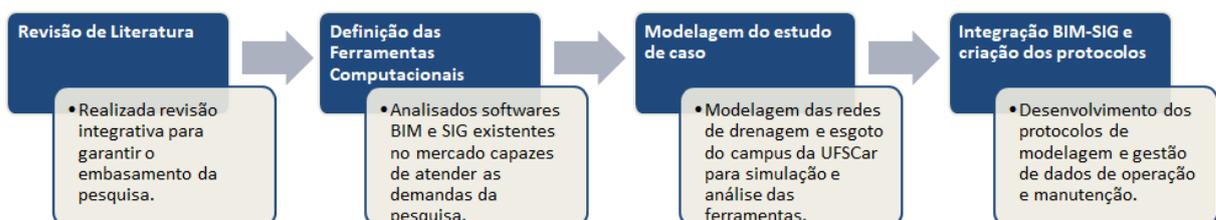
- e na avaliação e escolha das ferramentas computacionais existentes no mercado para a criação de um modelo integrado entre plataformas BIM e SIG, para responder ao segundo objetivo.

As estratégias utilizadas nessa etapa podem ser classificadas como qualitativas e exploratórias. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa deve usar métodos qualitativos que demonstrem o que convém ser feito, a partir da produção de informações aprofundadas e ilustrativas de uma amostra, criando uma interação entre os objetivos do pesquisador com suas orientações teóricas e seus dados empíricos. Já a pesquisa exploratória pode envolver um levantamento bibliográfico e análise de exemplos, para estimular a compreensão, com o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, para torna-lo mais explícito ou construir hipóteses (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Na segunda etapa, de forma a validar as conclusões extraídas a partir da pesquisa qualitativa e exploratória em relação às potencialidades da integração das plataformas BIM e SIG, em vista à gestão de operação e manutenção de infraestrutura urbana, foi criado um modelo experimental de simulação que contemplou os sistemas de infraestrutura urbana do campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Conforme Miguel et al. (2012), o modelo experimental de simulação pode ser uma importante ferramenta para representar um sistema existente simulando comportamentos de processo reais por meio de relações lógicas, com o intuito de observar seu comportamento em diferentes cenários.

A partir da criação e análise do modelo experimental BIM-SIG, foram desenvolvidos os protocolos de modelagem e gestão de dados de operação e manutenção, que são o objetivo final desta pesquisa e etapa final do plano de trabalho, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do plano de trabalho.



Fonte: O Autor

A seguir são detalhados os métodos utilizados em cada uma das etapas do plano de trabalho.

4.1 Revisão de Literatura

Com o intuito de garantir que a pesquisa esteja devida embasada, determinando o conhecimento atual sobre a temática da utilização de BIM nos processos de manutenção da infraestrutura urbana, foi realizada uma revisão integrativa da literatura, que, segundo Souza, Silva e Carvalho (2010), têm o objetivo de identificar, analisar e sintetizar resultados de estudos sobre o mesmo assunto, de maneira sistemática, ordenada e abrangente. A revisão integrativa busca aproximar-se da problemática sobre o tema, traçando um panorama sobre a sua produção científica, consolidando as informações de forma conjunta e agregando o conhecimento adquirido (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011).

Para definir a busca a ser feita foi definida a questão a ser respondida, sendo: quais processos seriam necessários para usufruir do potencial de ferramentas e da metodologia BIM para melhorar os procedimentos de gestão e manutenção de redes de infraestruturas nas cidades?

Essa questão foi definida utilizando como base o conhecimento adquirido a partir da contextualização do tema desta pesquisa, que mostrou o BIM como uma metodologia já difundida para uso em todos os processos do ciclo de vida das edificações e o SIG como plataforma computacional com maior potencial para uso na gestão de ativos municipais. A partir desse cenário pretendeu-se entender como o BIM pode agregar no gerenciamento das redes de infraestrutura urbana, utilizando essas informações para cumprir com os objetivos desta pesquisa.

Foram utilizadas quatro fontes de busca de bases de dados eletrônicas para aumentar a chance de encontrar estudos relevantes e assim diminuir o viés, sendo:

- Periódicos Capes;
- Web of Science™;
- Scopus | Elsevier;
- Scielo.

Foram definidas as palavras chaves e utilizado o operador booleano “AND” limitando a busca aos estudos que continham todas as palavras chaves escolhidas. Com isso, a busca ficou definida como: bim AND maintenance AND "urban infrastructure".

Para aumentar as chances de confiabilidade dos estudos primários incluídos e que os dados apresentados sejam atuais, foram utilizados os filtros que limitavam os estudos aos

revisados por pares e, ao mesmo tempo, estudos publicados entre 2015 e 2021. A última atualização da catalogação dos estudos que se enquadravam nesses requisitos ocorreu em 24 de outubro de 2021.

O processo de seleção dos artigos seguiu a base de fluxo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), sendo que todos os artigos obtidos nas buscas passaram, primeiramente, por um filtro baseado na leitura dos títulos e resumos. Após essa primeira filtragem, que excluiu os artigos que não relacionavam o uso de BIM para manutenção de ativos da infraestrutura urbana, foram selecionados os artigos com potenciais informações que poderiam agregar à pesquisa.

Posteriormente, os artigos pré-selecionados foram lidos integralmente. Com a leitura dos artigos foi possível identificar como esses se relacionam com esta pesquisa e selecionar os que podem contribuir com os objetivos pretendidos. Essa análise foi feita a partir da estruturação de uma tabela que resumia os objetivos, resultados principais e como cada artigo poderia contribuir com o objetivo desta pesquisa. Os artigos que tratavam sobre temas que não se relacionam com a pesquisa, detalhados na seção de resultados, foram descartados. Ao final dessa seleção foram definidos quais os artigos atendiam os critérios necessários para serem incluídos na revisão.

Com os artigos selecionados foi realizada uma análise bibliométrica referente ao ano e local de publicação e também foram criados dois mapas bibliométricos utilizando o software VOSviewer, um de coautoria e outro de palavras-chave. Para a criação do mapa de palavras chaves foram identificadas palavras com o mesmo significado, mas escritas de maneiras diferentes, o que faz com que o VOSviewer identifique como palavras chaves distintas. Para resolver esse problema foi criada uma planilha de sinônimos para o VOSviewer, que substituiu, dentre outras, palavras-chave como “*building information modeling*” e “*building information modelling*” por “*bim*”.

Para facilitar o entendimento e a análise dos artigos em conjunto foi criada uma tabela resumo destacando os objetivos de cada artigo, seus resultados principais, como cada artigo contribuiu para o objetivo desta pesquisa e como se relacionam com o tema da pesquisa.

Com os dados da revisão bibliométrica e com a tabela resumo foi desenvolvida a discussão referente à revisão integrativa da literatura.

4.2 Análise e definição das ferramentas computacionais de modelagem

Para que fosse possível definir quais as ferramentas computacionais que seriam utilizadas na criação do modelo no caso de estudo, foram analisados alguns dos softwares disponíveis no mercado com tecnologia BIM e SIG capazes de atender as demandas desta pesquisa. A busca foi realizada via buscador Google, com as palavras chave “BIM”, “SIG”, “GIS”, “software”, “ferramentas”, “desenvolvedores”, “projetos” e “construção civil”.

Os materiais encontrados abrangeram documentos oficiais dos fabricantes, vídeos e análises de usuários.

Todos os materiais foram visualizados para verificação da sua potencialidade para atender o objetivo deste estudo. Para tanto, foram verificadas as seguintes critérios:

- Ter tecnologia BIM ou SIG;
- Possibilitar a interoperabilidade com outras ferramentas, exportando o arquivo em algum formato acessível. Nesse quesito foram consideradas as informações do desenvolvedor;
- Ser ferramentas reconhecidas e difundidas no meio da construção civil e planejamento urbano. Esse quesito considerou informações dos desenvolvedores e de usuários;

Após a verificação dos softwares seguindo esses critérios, foi verificada a disponibilidade de versões educacionais ou gratuitas para a seleção das ferramentas a serem utilizadas para o desenvolvimento do modelo.

Esses critérios possibilitaram que fossem levantadas ferramentas já reconhecidas no mercado, acessíveis e aplicáveis ao estudo proposto. Os dados dessa etapa do estudo estão descritos na contextualização e a definição das ferramentas utilizadas, CIVIL3D® para o fluxo BIM e QGIS® para o fluxo SIG, esta descrita no estudo de caso.

4.3 Modelagem do Caso de Estudo– Campus da UFSCar em São Carlos

O cenário escolhido para desenvolvimento do modelo e para simulação e análises das ferramentas foi o campus da UFSCar em São Carlos. Essa escolha se justifica, pois, o campus universitário tem uma área delimitada que contempla todos os elementos básicos da infraestrutura do contexto de uma cidade e que pode ser facilmente generalizado para outros cenários urbanos.

Localizado à beira da Rodovia Washington Luís, km 235, em São Carlos, o Campus conta 645 hectares de extensão e 196 mil m² de área construída, divididos entre edificações com salas de aulas e laboratórios, biblioteca comunitária, restaurante universitário, moradia estudantil, ambulatório médico, quadras esportivas, piscina, entre outros (UFSCAR, 2021). O Campus possui uma extensa área de cerrado, sendo que as poucas redes que cruzam essa região foram desconsideradas na criação no modelo, por não estarem localizadas em regiões com características de meio urbano, de forma a não atender as necessidades desta pesquisa.

Além disso, para que seja possível fazer uma análise profunda das infraestruturas de uma cidade é necessário ter acesso ao material documental das redes que fazem parte destes sistemas, e a prefeitura universitária da UFSCar, representada pela Secretaria Geral de Gestão do Espaço Físico (SeGEF), possui um material nesse formato que possibilita a criação do modelo para estudo. A SeGEF possui uma plataforma online em que disponibiliza informações sobre a estrutura das edificações do campus e possibilita a solicitação de cessão de projetos. O modelo poderia ser integrado a essa plataforma, sendo utilizada também para disponibilizar informações sobre a infraestrutura do campus e abrir um canal para requisição de serviços de manutenção.

Com as ferramentas computacionais definidas, juntamente com o arquivo base disponibilizado pela SeGEF, a próxima etapa é o desenvolvimento do modelo das redes de infraestrutura. A base de dados do campus possui 677 camadas para representação das edificações, ruas, calçadas, arborizações, redes de infraestrutura, entre outros. Para uso na criação do modelo serão utilizadas 2 redes de infraestrutura, sendo:

- Rede de drenagem de águas pluviais;
- Rede de esgoto sanitário.

Para criação do modelo, a modelagem de apenas uma rede atenderia quase todas as necessidades de levantamento de dados para pesquisa, porém ficaria faltando a análise referente ao *clash detection*, ou detecção de interferências, que é um item muito importante quando se trata de redes enterradas. Durante o processo de manutenção de uma rede enterrada, caso não haja informação sobre outras tubulações, pode ocorrer à colisão com essas outras redes e, conseqüentemente, a ruptura dessas tubulações. Por esse motivo, optou-se pela modelagem de mais de uma rede, para que fosse possível analisar com mais informações quais os processos que devem ser realizados durante a manutenção

das redes enterradas. A escolha das redes de esgoto e drenagem ocorreu por serem duas redes enterradas, usualmente a cargo de gestores distintos e que trabalham por gravidade, tendo menos liberdade nas variações de cotas, sendo assim mais críticas nos seus posicionamentos e profundidades.

4.4 Integração BIM-SIG e criação dos protocolos de modelagem e gestão de dados de operação e manutenção

Posteriormente à finalização da modelagem BIM, o arquivo foi exportado para uma ferramenta SIG, com o intuito de obter análises mais precisas, aprofundadas e em grande escala, a partir da combinação entre as plataformas BIM e SIG, que permita a incorporação de análises textuais com bases gráficas georreferenciadas a partir da visualização por mapas, mantendo o máximo possível de informações criada pela modelagem BIM.

Com o modelo integrado BIM-SIG finalizado, foram desenvolvidos protocolos de modelagem para redes novas e existentes de infraestrutura, que é o resultado final desta pesquisa, demonstrando como o uso desse protocolo poderia ser utilizado para melhorar e facilitar o trabalho da gestão pública e privada em relação à gestão e manutenção das redes de infraestrutura, atendendo e garantindo o melhor desempenho das redes de infraestrutura durante toda a sua vida útil. O desenvolvimento dos protocolos busca elucidar:

- Todas as informações que o modelo BIM-SIG precisa conter para que seja possível o uso adequado do protocolo de gestão e manutenção;
- Como deve ser realizada a modelagem, recomendando como e quando devem ser inseridos os dados durante o desenvolvimento do modelo;
- Alternativas para o levantamento da infraestrutura existente não cadastrada ou parcialmente cadastrada;
- Premissas para criação de um modelo propondo aproximações, quando não houver informações mais precisas sobre as redes e que não for possível à realização do levantamento complementar.

Os protocolos foram definidos a partir dos conhecimentos adquiridos nos levantamentos de pesquisas realizados durante a contextualização e a revisão integrativa da literatura, em conjunto com possibilidades e necessidades observadas durante o desenvolvimento do modelo no estudo de caso.

5 REVISÃO DA LITERATURA

A busca por artigos para a revisão integrativa resultou na identificação de cinquenta e quatro registros, sendo cinquenta da base de dados Periódicos Capes, três da Scopus | Elsevier, um da Web of Science™ e zero da Scielo, conforme resumo apresentado no Quadro 3. Dentre os cinquenta e quatro artigos encontrados, um aparecia duplicado duas vezes, estando presente nas bases Periódicos Capes, Scopus | Elsevier e na Web of Science™. Com isso, foram selecionados cinquenta e dois artigos para triagem.

Quadro 3 – Resumo do número de artigos por base de dados.

Base de dados	Artigos Identificados	Artigos Repetidos
Periódicos Capes	50	1
Scopus Elsevier	3	1
Web of Science	1	1
Scielo	0	0

Fonte: O Autor

Na primeira etapa da triagem, em que foram lidos os títulos e resumos de todos os artigos, trinta e três estudos foram descartados, todos da base de dados Periódicos Capes, pois não foram identificadas possibilidades de relações entre os artigos e o objetivo desta revisão, sendo alguns dos temas presentes nesses artigos:

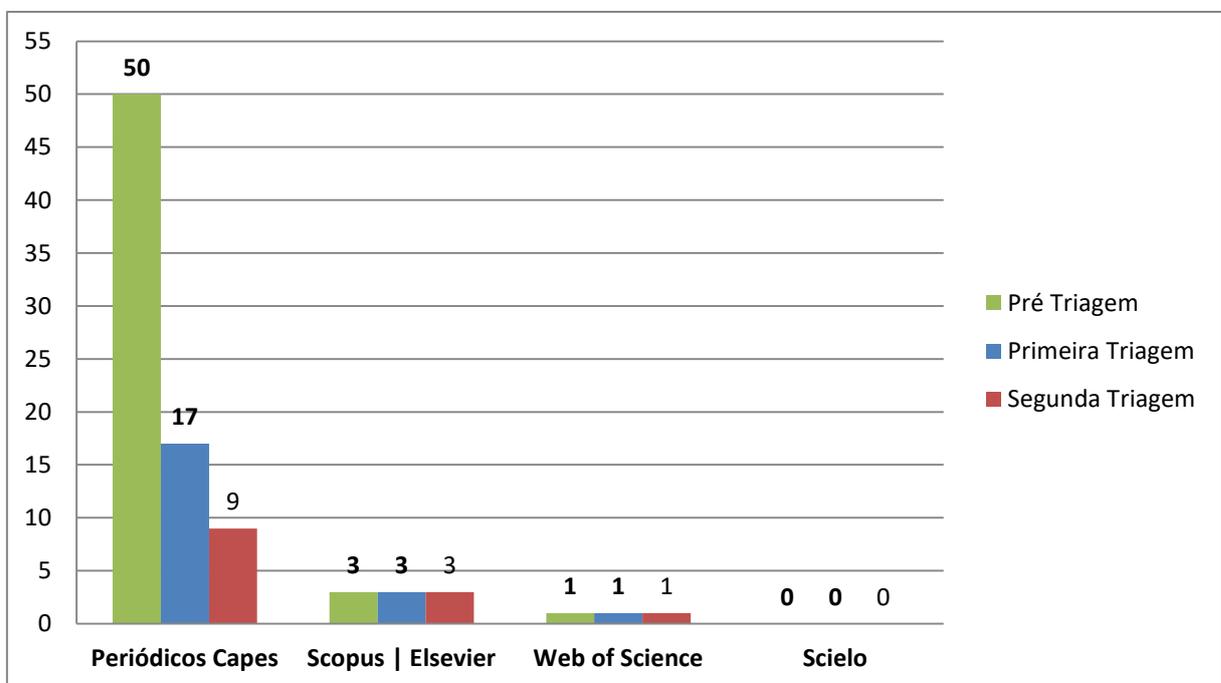
- Desempenho energético de edifícios;
- Registro de imóveis a partir de um cadastro tridimensional;
- Cadastros tridimensionais para unidades habitacionais;
- Sistemas de avaliação de sustentabilidade;
- Avaliação de valores de edifícios públicos.

Dessa maneira, restaram dezenove artigos para análise de elegibilidade mais profunda, sendo essa a segunda e última etapa de triagem. Após a leitura dos dezenove artigos na íntegra foram selecionados nove artigos da base de dados Periódicos Capes, três da Scopus | Elsevier, um da Web of Science™ e zero da Scielo, conforme resumo apresentado no Figura 2. Como um dos artigos selecionados aparece duplicado nas três bases de dados, foram incluídos na revisão um total de onze artigos, sendo os outros oito restantes descartados.

O motivo genérico da exclusão dos oito artigos durante o segundo processo de triagem é o fato de não relacionar o uso de BIM para manutenção de ativos da infraestrutura urbana, podendo ser detalhados em:

- Artigos que apesar de citar o BIM e redes de infraestrutura não tratavam sobre esses temas. Cinco casos se aplicaram nesse motivo;
- Artigo focado no tema de sistema de controle de cidades inteligentes. Um artigo se enquadrou nesse motivo;
- Artigo trata sobre o *Big Data* na construção e nas cidades. Um artigo se enquadrou nesse motivo;
- Artigo discorre sobre sistema de energia em cidades inteligentes. Um artigo se enquadrou nesse motivo.

Figura 2 - Quantidade de artigos encontrados em cada base de dados que atendem os requisitos de busca da revisão integrativa da literatura e quantidade de artigos selecionados em cada base de dados em cada uma das etapas de triagem.



Fonte: O Autor

O processo de seleção dos artigos foi realizado utilizando como base o digrama de fluxo PRISMA. Esse fluxograma, apresentado na Figura 3, apresenta o processo de identificação dos estudos por meio de bancos de dados, os processos de triagem e recuperação de artigos e a seleção final dos artigos a serem incluídos na revisão.

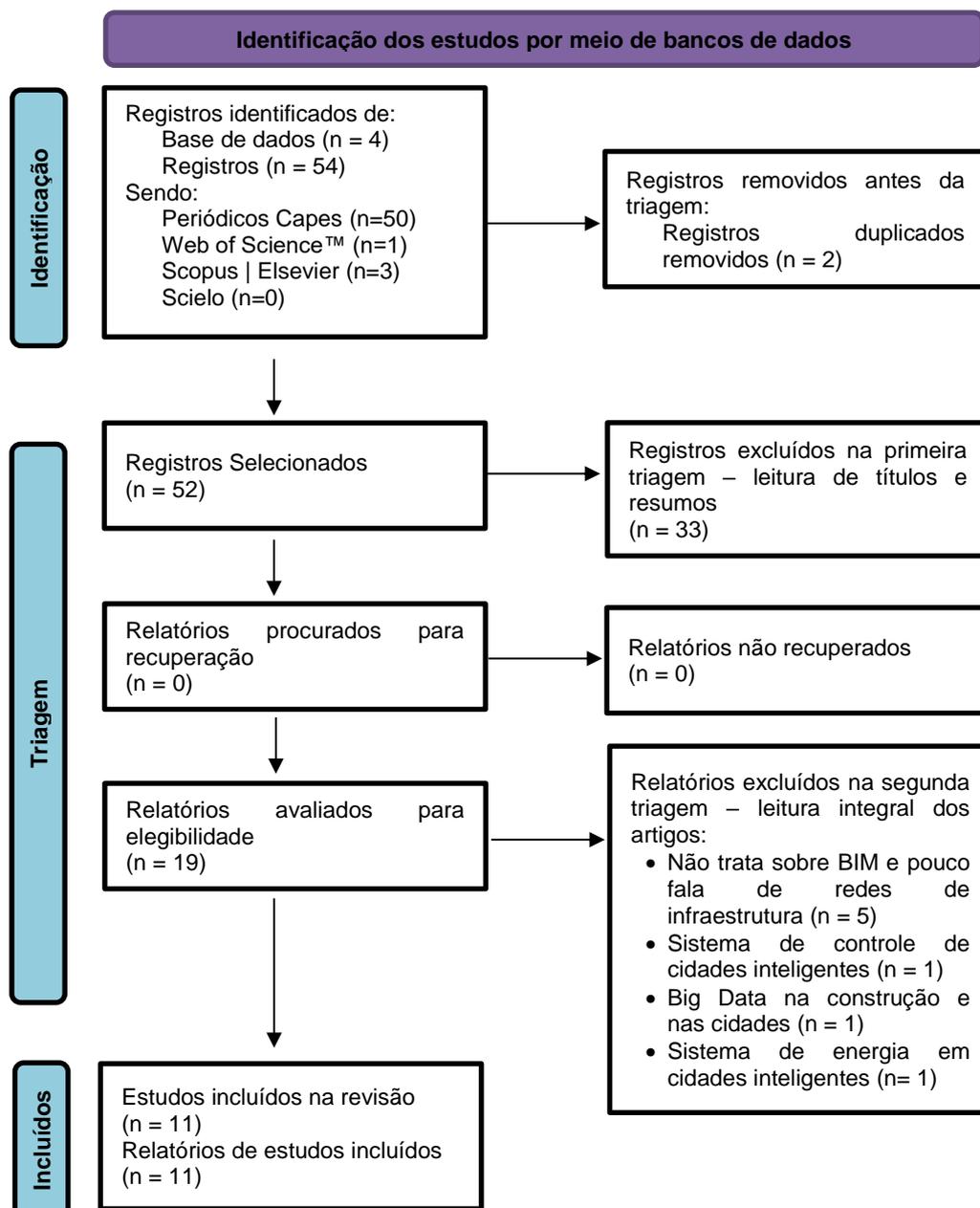
A seleção dos estudos foi realizada a partir da análise de como os dados apresentados se relacionam com o objetivo desta pesquisa e de como esses estudos podem contribuir para o desenvolvimento desta pesquisa, agregando informação e conhecimento. Para resumir o levantamento dessas informações foi criado o Quadro 4, que apresenta as

informações retiradas de cada um dos estudos selecionados. O Quadro 4 é dividido em 4 colunas, sendo:

- Referência;
- Resultados principais;
- O que o artigo contribuiu para o objetivo da pesquisa;
- Dados do artigo que relacionam com o objetivo do estudo.

A discussão referente às informações levantadas é apresentada na seção 5.2.

Figura 3 – Fluxograma do processo de revisão, diagrama de fluxo PRISMA.



Fonte: Adaptado de PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*, v. 372, 2021.

Quadro 4 – Resumo da análise dos artigos selecionados na revisão integrativa da literatura.

(continua)

Referência	Resultados principais	O que o artigo contribuiu para o objetivo da pesquisa	Dados do artigo que relacionam com o objetivo do estudo
<p>VILVENTHAN ; RAZIN; RAJADURAI, 2020</p>	<p>Os modelos 3D desenvolvidos forneceram visualização em tempo real das concessionárias existentes em relação às condições locais e permitiram identificar conflitos entre concessionárias. Os modelos 4D BIM permitiram à equipe do projeto determinar as lacunas no cronograma de construção, visualizar o andamento do projeto e desenvolver o plano de recuperação necessário em conformidade. Os modelos 4D permitem compartilhar ideias individuais e melhorar a comunicação e a coordenação entre as partes interessadas envolvidas no projeto de relocação. Os modelos 4D BIM minimizarão os atrasos por causa das realocações da concessionária e melhorarão a coordenação e a comunicação entre os diferentes membros envolvidos no projeto.</p>	<p>Demonstrou como informações completas sobre redes subterrâneas podem reduzir custos de contratação de serviço, pois ajuda os empreiteiros a alocar os recursos de acordo com as condições do local e diminuem os riscos de danos as tubulações existentes, que se tornam custos de reparo.</p>	<p>O artigo reforça a importância de ferramentas BIM para a gestão de redes de infraestrutura subterrânea, com informações que vão muito além da visualização 3D. Reforça também a necessidade de coordenação entre várias agências envolvidas e a necessária centralização dos dados de todas as informações subterrâneas.</p>

Referência	Resultados principais	O que o artigo contribuiu para o objetivo da pesquisa	Dados do artigo que relacionam com o objetivo do estudo
LI; CHEN; XU, 2021	<p>Durante a fase de operação e manutenção, o plano de tratamento de água realizou gestão científica e inteligente, baseada em tecnologia BIM e internet das coisas, como monitoramento automático e análise da qualidade e quantidade da água e do meio ambiente. O projeto realizou a transmissão e o compartilhamento de dados em todo o ciclo de vida e maximizou a cooperação de todos os participantes, o que desempenhou um papel importante na melhoria da eficiência da produção, redução de custos e redução do período de construção.</p>	<p>Especificou os tipos de informação presentes no modelo de operação e manutenção da estação de tratamento de água, como desenhos (projetos), imagens, arquivos eletrônicos, tabelas e fluxos. Padrões presentes nesse modelo podem servir como referência para criação de modelos semelhantes para redes de infraestrutura.</p>	<p>O artigo destaca como o BIM pode ser utilizado para expressão visual e transferência de informações de alta eficiência, fornecendo suporte técnico para melhor a eficiência operacional significativamente.</p>
SONG et al., 2017	<p>A utilização da integração BIM-GIS na indústria de AEC requer teorias sistemáticas além das tecnologias de integração e aplicações profundas de métodos de modelagem matemática, incluindo modelagem estatística espaço-temporal em GIS e simulação e gerenciamento 4D / nD BIM.</p>	<p>Destaca como a análise baseada em visualização melhora a eficiência e o desempenho de gerenciamento da construção em projetos de engenharia e arquitetura. A integração BIM-SIG pode oferecer a integração de dados e informações com múltiplas escalas espaciais, resolvendo problemas relacionados ao ambiente urbano.</p>	<p>O artigo aponta como as aplicações da integração BIM-SIG que foram estudadas entre 2008 e 2017 cobrem todas as fases da construção de infraestrutura urbana, sendo essa integração aplicada para modelagem urbana 3D e gestão de instalações urbanas.</p>

Referência	Resultados principais	O que o artigo contribuiu para o objetivo da pesquisa	Dados do artigo que relacionam com o objetivo do estudo
LIU et al., 2017	Ainda existem muitos obstáculos e desafios para a realização da integração BIM e GIS. A incompatibilidade de informações entre os dois é um dos fatores mais importantes. As informações incompatíveis não apenas indicam a diferença de formato padrão, mas também representam diferentes usuários. Portanto, abertura e colaboração são as chaves do sucesso da integração BIM e GIS.	Identificando quais as duas principais camadas, “IfcSpaces” e “IfcSlab”, entre a conversão de CityGML e IFC.	Necessidade de processos sistemáticos para gestão de ativos nas áreas de operação, manutenção e renovação. Potencialidade de integrar SIG e BIM para visualização 3D de dutos sub-superficiais em conexão com utilitários de construção para fins de gerenciamento de instalações.
MENG et al., 2020	O BIM é considerado uma das plataformas mais adequadas para AEC devido à sua capacidade de resolver diversos problemas. Grande parte dos desafios enfrentados pelo desenvolvimento do BIM na grande construção civil advém dos dois motores: promoção e gestão.	Os verdadeiros beneficiários da aplicação do BIM em todo ciclo de vida da construção são os donos dos ativos, que estão mais preocupados com os benefícios de acompanhamento do investimento inicial no BIM. Portanto, a fase de aplicação do BIM está gradualmente se movendo em direção ao desenvolvimento da operação e manutenção. E a operação puxará a implementação do ciclo de vida do BIM.	A entrega do modelo de conclusão do aplicativo BIM não só traz comodidade para o gerenciamento subsequente da propriedade, mas também fornece informações históricas eficazes no futuro processo de renovação, reforma e expansão. Informações não geométricas, como qualidade do ambiente interno e serviços básicos de construção, tornam-se cada vez mais importantes no estágio de operação.
ONUNGWA; OLUGU-UDUMA; SHELDEN, 2021.	O Cloud BIM facilitou a troca de documentos e colaboração para cidades inteligentes	O artigo demonstrou a potencialidade do uso de ferramentas em nuvem para compatibilização de informações de diferentes setores envolvidos na infraestrutura da cidade. De maneira semelhante, pode ser feito para gestão da infraestrutura urbana.	Diferentes partes interessadas puderam monitorar o andamento do projeto em tempo real, mostrando a possibilidade de coordenar a infraestrutura da cidade com base em dados individuais que podem ser agregados em uma mesma base de dados.

Referência	Resultados principais	O que o artigo contribuiu para o objetivo da pesquisa	Dados do artigo que relacionam com o objetivo do estudo
LAFIOUNE e ST-JACQUES, 2020.	O intercâmbio e gestão de dados são a principal fonte dos problemas encontrados na gestão das cidades. O sucesso na concepção de um modelo 3D digital da cidade que englobe diversas áreas de gestão não pode vir sem um mandato público para acompanhar e apoiar a transição digital da cidade.	O artigo destaca a importância do intercâmbio de informações entre diferentes setores da cidade. A solução proposta é a criação de um modelo digital 3D em nuvem que contenha dados de todos os setores de gestão da cidade. Destaca o BIM junto com o SIG como ferramentas necessárias na criação desse modelo.	Cada tipo de gestão resolve uma parte dos problemas da cidade, mas não leva em consideração a interconexão entre os sistemas. A solução proposta na presente pesquisa consiste na gestão integrada de todos os sistemas urbanos.
LIEBERMAN e ROENSDORF, 2020.	As implementações piloto demonstraram a viabilidade do modelo proposto para integrar dados de ativos de serviços públicos de diferentes áreas para servir como base nas operações de escavação.	A necessidade de o modelo possuir dados futuros, além dos dados atuais. As informações completas sobre as redes podem auxiliar nas tomadas de decisões nos programas de manutenção preventiva, custos que, usualmente, são mais baixos do que manutenções corretivas. Abordagem modular para detalhes, com um núcleo conceitual básico e vários módulos de extensão para informações mais completas.	O artigo propõe um modelo que integre as informações de diferentes concessionárias responsáveis pelas diversas redes de infraestrutura urbanas enterradas, melhorando os processos de localização e escavação das instalações, reduzindo riscos, tempo gasto e custos.
LIU; ZENG; BIAN, 2019	O gerenciamento digital e inteligente é inevitável na futura exploração de espaço urbano subterrâneo.	O artigo destaca a importância do trabalho geológico urbano com a gestão da construção urbana.	A gestão do espaço subterrâneo em cidades típicas da China envolve diversos departamentos, que apresentam padrões dispersos e complexos em que Cada departamento de gerenciamento assume suas próprias funções de gerenciamento. Para melhorar a gestão dos espaços subterrâneos é necessária uma coordenação que envolva todos os departamentos.

Referência	Resultados principais	O que o artigo contribuiu para o objetivo da pesquisa	Dados do artigo que relacionam com o objetivo do estudo
GOUDA; ABDALLAH; MARZOUK, 2020	Criação de um modelo BIM de instalações prediais existentes para operação e manutenção, que pode ser estendido pela implementação da estrutura proposta para diferentes tipos de construção.	No registro de ativos existentes deve ser feita uma avaliação das condições das instalações para antecipar as políticas de manutenção preventiva e reparos solicitados para os componentes existentes e avaliar sua condição física. Avaliações coerentes da condição dos componentes servem para monitorar seu estado antes e depois das demandas de reparo para descobrir o resultado da melhoria e para registrar quaisquer alterações substanciais nas condições. Parâmetros de entrada são: idade em anos; duração da garantia em anos; vida útil esperada em anos; uso diário médio anual; duração da instalação recentemente substituída em anos; fator de eficiência como uma porcentagem; registros de inspeção; históricos de manutenção; informações de inventário;	Criação de um modelo BIM para gestão e manutenção de ativos de forma a integrar dados de diversos sistemas diferentes.
SOFIA; ANAS; FAÏZ, 2020	O BIM tem um papel importante na criação de um Digital Twin, pois contém a plataforma de dados coletada durante todo o ciclo de vida de uma ponte. Principais vantagens: consultas de dados eficientes, processamento de dados integrado e capacidades de interpretação graças a algoritmos de aprendizagem de máquina, um ambiente colaborativo para a manutenção.	Utilização de Digital Twin como uma próxima etapa para monitoramento da infraestrutura urbana, dando sequência ao modelo BIM já proposto na pesquisa.	Criação de modelo digital BIM para gestão de ativos de infraestrutura urbana

Fonte: O Autor

5.1 Análise Bibliométrica

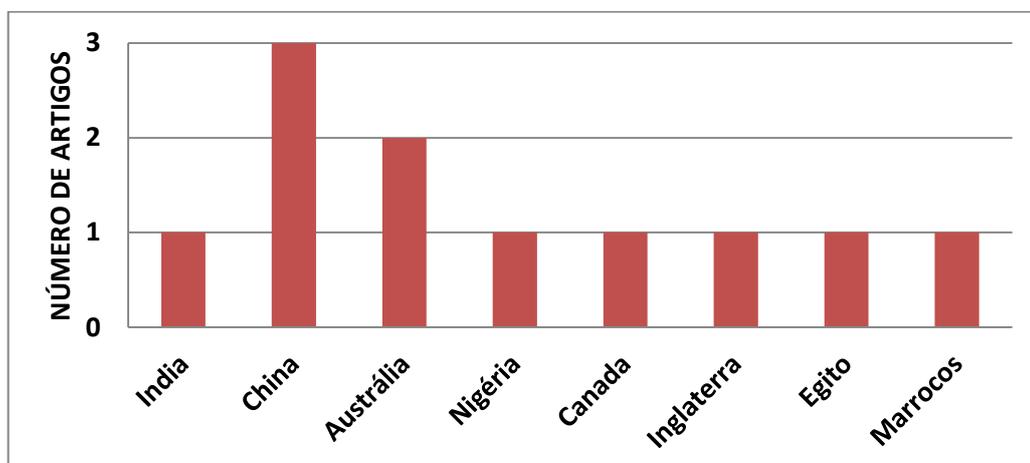
Para enriquecer a exploração dos artigos e dispor de mais dados para discussão da revisão integrativa da literatura, foi realizada uma análise bibliométrica dos artigos. Com o levantamento desses dados foi possível observar que os estudos incluídos na revisão são atuais, sendo que 8 dos 11 estudos selecionados foram publicados entre 2020 e 2021, como é possível observar na Figura 4. Os estudos também apresentam uma diversidade regional, sendo de 8 países de origem diferentes, utilizando como referência o país de vínculo de pesquisa do primeiro autor, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 4 - Identificação dos anos de publicação dos estudos utilizados para a revisão.



Fonte: O Autor

Figura 5 - Identificação dos locais de origem dos estudos utilizados para a revisão.

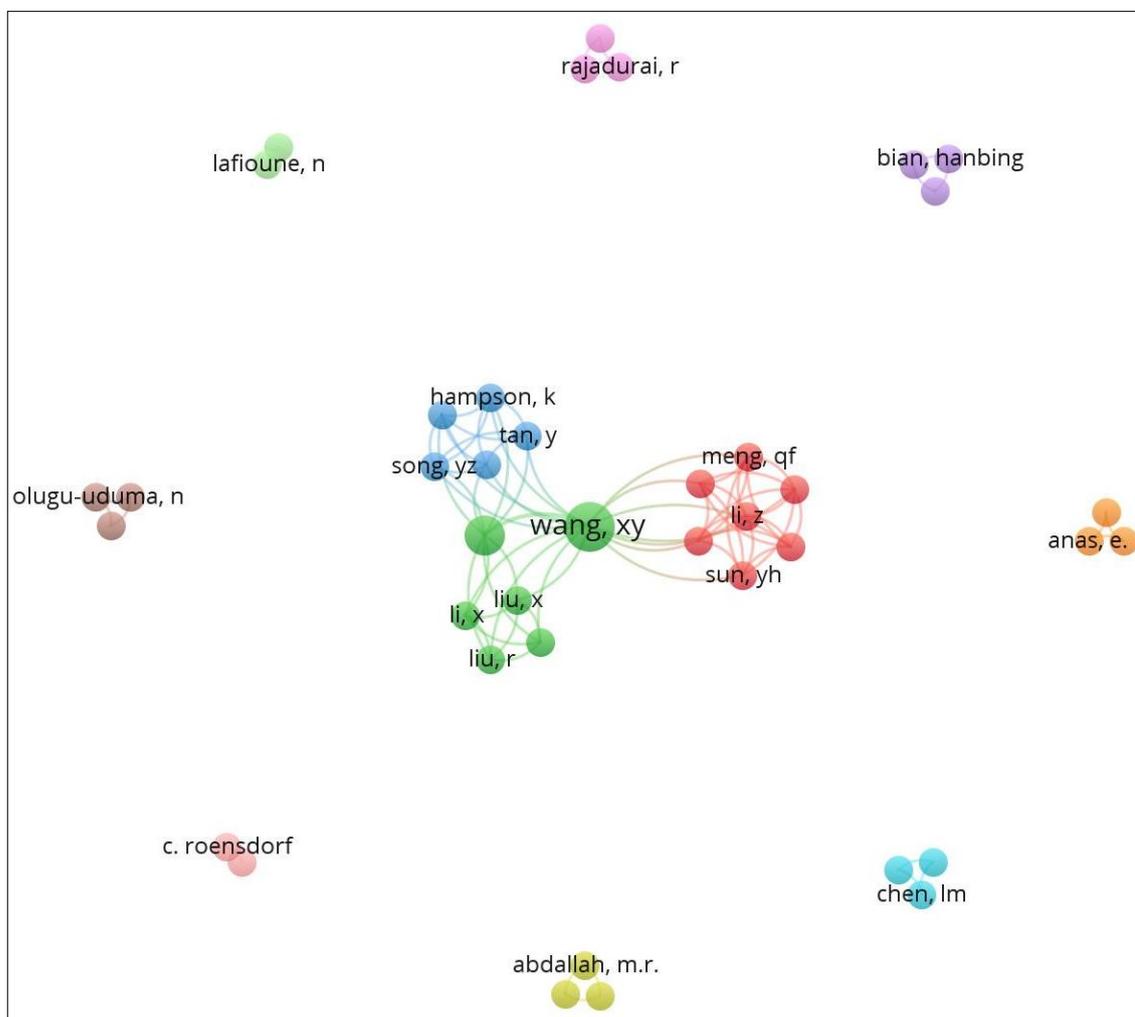


Fonte: O Autor

Dos onze artigos utilizados na revisão integrativa da literatura dois possuem dois coautores em comum, sendo que um desses autores também é coautor de um terceiro

artigo, sendo assim coautor de três dos onze artigos selecionados. Os outros 8 artigos restantes não possuem nenhuma interligação de coautoria, conforme é possível observar na Figura 6.

Figura 6 – Rede de coautoria dos onze artigos selecionados na revisão integrativa da literatura.



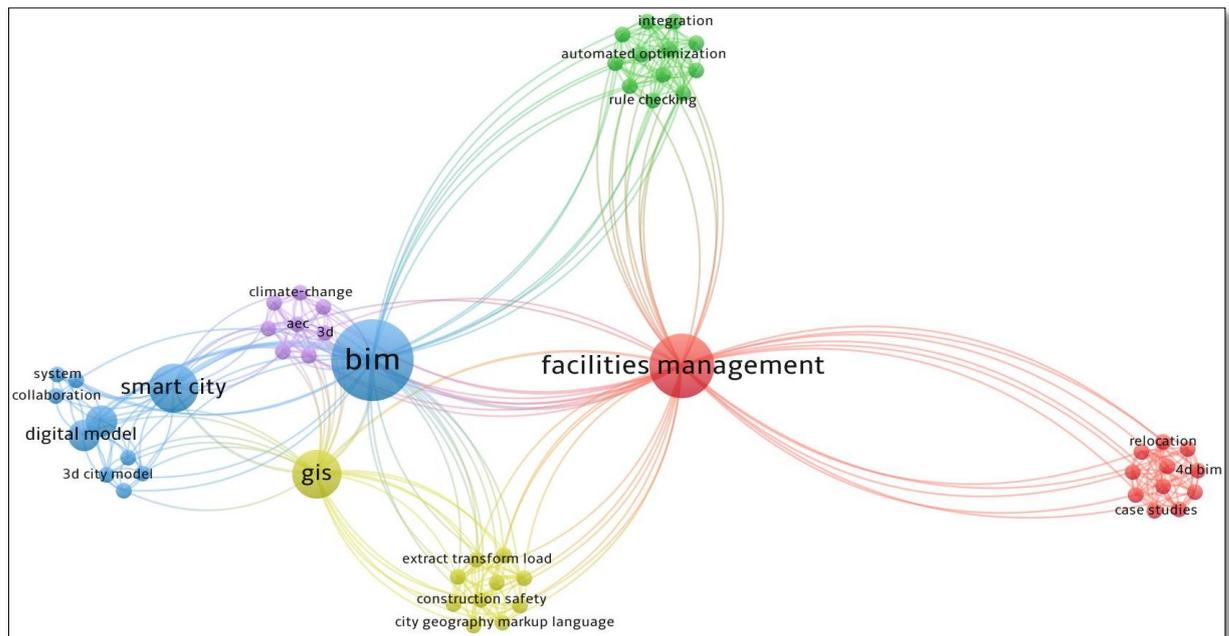
Fonte: O Autor, a partir do software VOSviewer

Com a criação do mapa de palavras-chave, apresentado na Figura 7, foi possível observar diversos grupos isolados de palavras, sendo esses grupos interligados por duas palavras chave principais:

- BIM e *facilities management*;

Apesar do destaque dessas duas palavras chave a conexão entre elas não ocorre de forma direta com muita intensidade. A ligação entre essas palavras chave ocorre muitas vezes de forma indireta a partir de outra palavra chave, como a GIS, e, principalmente, a partir da relação entre os grupos isolados de palavras chave.

Figura 7 - Mapa de palavras chaves utilizadas nos onze artigos selecionados na revisão integrativa da literatura.



Fonte: O Autor, a partir do software VOSviewer

A existência desses grupos isolados de palavras chave demonstra que o tema gestão e operação de infraestrutura urbana a partir do uso de modelagem da informação é muito amplo, possibilitando diversos focos descentralizados de discussão. A ligação indireta entre “BIM” e “*facilities management*” e impercepção da palavra “*maintenance*” demonstra que ainda não existe uma relação intensa de pesquisas que relacionem o uso do BIM para manutenção e gestão de instalações em infraestrutura urbana.

5.2 Conclusões

A revisão integrativa da literatura mostrou que é viável e essencial utilizar processos e tecnologias BIM além dos modelos digitais para edificações, ampliando o seu uso para a gestão das cidades (LAFIOUNE e ST-JACQUES, 2020), aplicando o BIM para gestão de redes de infraestrutura urbana (SONG et al., 2017; SOFIA; ANAS; FAÏZ, 2020) como redes subterrâneas (VILVENTHAN; RAZIN; RAJADURAI, 2020), estações de tratamento de água (LI; CHEN; XU, 2021), rodovias e pontes (SOFIA; ANAS; FAÏZ, 2020). Esse movimento da aplicação do BIM nas fases de operação e manutenção tem grande influência dos donos dos ativos, que são os verdadeiros beneficiários da aplicação do BIM em todo o ciclo de vida da construção (MENG et al., 2020).

A aplicação do BIM para gestão das redes de infraestrutura urbana se faz extremamente necessária, pois possibilita a criação de um modelo digital para gestão e manutenção de ativos de forma a integrar diversos sistemas diferentes (GOUDA; ABDALLAH; MARZOUK, 2020) possibilitando a integração e centralização dos dados de diferentes concessionárias responsáveis pelas diversas redes de infraestrutura presentes no espaço urbano (LIU; ZENG; BIAN, 2019; VILVENTHAN; RAZIN; RAJADURAI, 2020; LAFIOUNE e ST-JACQUES, 2020; LIEBERMAN e ROENSDORF, 2020).

Grande parte da infraestrutura urbana esta enterrada, o que faz com que seja inevitável o gerenciamento digital e inteligente na futura exploração do espaço urbano subterrâneo (LIU; ZENG; BIAN, 2019). Um modelo digital tridimensional e com uma robusta base de dados poderia melhorar a gestão dos espaços subterrâneos, melhorando processos de localização e escavação das instalações, reduzindo riscos, tempo gasto e custos (LIEBERMAN e ROENSDORF, 2020). Uma base de dados completa de informações sobre as redes subterrâneas pode reduzir custos de contratação de serviços, pois ajudaria os empreiteiros a alocar os recursos de acordo com as condições do local e diminuiriam os riscos de danos às tubulações existentes (VILVENTHAN; RAZIN; RAJADURAI, 2020).

Apesar do grande potencial da aplicação do BIM para gestão das redes de infraestrutura das cidades, esse acaba limitado devido à dimensão da escala dos ambientes urbanos. A alternativa que tem se mostrado mais viável para solucionar esse problema é a integração BIM com SIG, que pode oferecer a integração de dados e informações com múltiplas escalas espaciais, possibilitando a criação de um modelo digital tridimensional urbano (SONG et al., 2017; LAFIOUNE e ST-JACQUES, 2020). Apesar de já existirem aplicações da integração entre BIM e SIG que cobrem todas as fases da construção da infraestrutura urbana (SONG et al., 2017) ainda existem muitos obstáculos e desafios para a realização da integração BIM e SIG, sendo a incompatibilidade de informações entre as duas plataformas um dos fatores mais importantes (LIU et al., 2017). Porém, a incompatibilidade de informações não indica apenas a diferença de formato padrão, mas também representam diferentes usuários (LIU et al., 2017). A solução para integração entre BIM e SIG passa pela conversão em formatos padrões IFC e CityGML, respectivamente, e pela abertura e colaboração entre os usuários (LIU et al., 2017).

A integração entre diferentes usuários para colaboração BIM e troca de documentos pode ser facilitada pelo uso de ferramentas em nuvem (ONUNGWA; OLUGU-UDUMA; SHELDEN, 2021). O desenvolvimento do trabalho em nuvem possibilita que diferentes partes interessadas possam monitorar o andamento do projeto em tempo real, proporcionando coordenação de diferentes setores, agregando dados individuais em uma mesma base de dados (ONUNGWA; OLUGU-UDUMA; SHELDEN, 2021; LAFIOUNE e ST-JACQUES, 2020).

Um modelo de grande escala precisa ter uma abordagem modular para detalhes, com um núcleo conceitual básico e vários módulos de extensão para informações mais completas (LIEBERMAN e ROENSDORF, 2020). Para que esse modelo digital possa atender as fases de gestão e manutenção, deve possuir informações de projeto, imagens, arquivos eletrônicos, tabelas e fluxos (LI; CHEN; XU, 2021). Segundo Gouda, Abdallah e Marzouk (2020) alguns parâmetros de entrada que devem ser considerados no modelo são: idade em anos dos sistemas; duração da garantia em anos; vida útil esperada em anos; uso diário médio anual; duração da instalação recentemente substituída em anos; fator de eficiência como uma porcentagem; registros de inspeção; históricos de manutenção; informações de inventário.

No registro de ativos existentes deve ser feita uma avaliação das condições das instalações para antecipar as políticas de manutenção preventiva (GOUDA; ABDALLAH; MARZOUK, 2020), custos que, usualmente, são mais baixos do que manutenções corretivas (LIEBERMAN e ROENSDORF, 2020). Avaliações coerentes das condições dos componentes servem para monitorar seu estado antes e depois das demandas de reparo para descobrir o resultado da melhoria e para registrar quaisquer alterações substanciais em suas condições (GOUDA; ABDALLAH; MARZOUK, 2020).

A próxima etapa no monitoramento da infraestrutura urbana, dando sequência ao modelo BIM, será a criação de gêmeos digitais, ou *Digital Twin* (SOFIA; ANAS; FAÏZ, 2020). Para que seja possível a criação de gêmeos digitais a partir do uso de uma grande quantidade de sensores nas redes de infraestrutura que demonstrem digitalmente o que ocorre nas redes físicas em tempo real é necessário que já exista um modelo digital construído, fazendo assim necessário o desenvolvimento de modelos digitais BIM integrados com plataformas SIG, ou uma plataforma CIM com características BIM e SIG, que já atendam todo o ambiente urbano para que essa próxima etapa possa ser contemplada.

6 ESTUDO DE CASO

Para experienciar as potencialidades do uso de uma plataforma BIM para gestão e manutenção de infraestrutura urbana e testar a sua associação com uma plataforma SIG, foi realizado um estudo de caso. Para esse estudo foi utilizado como base o campus de São Carlos da UFScar. A seguir são detalhadas todas as etapas do processo de criação do modelo digital.

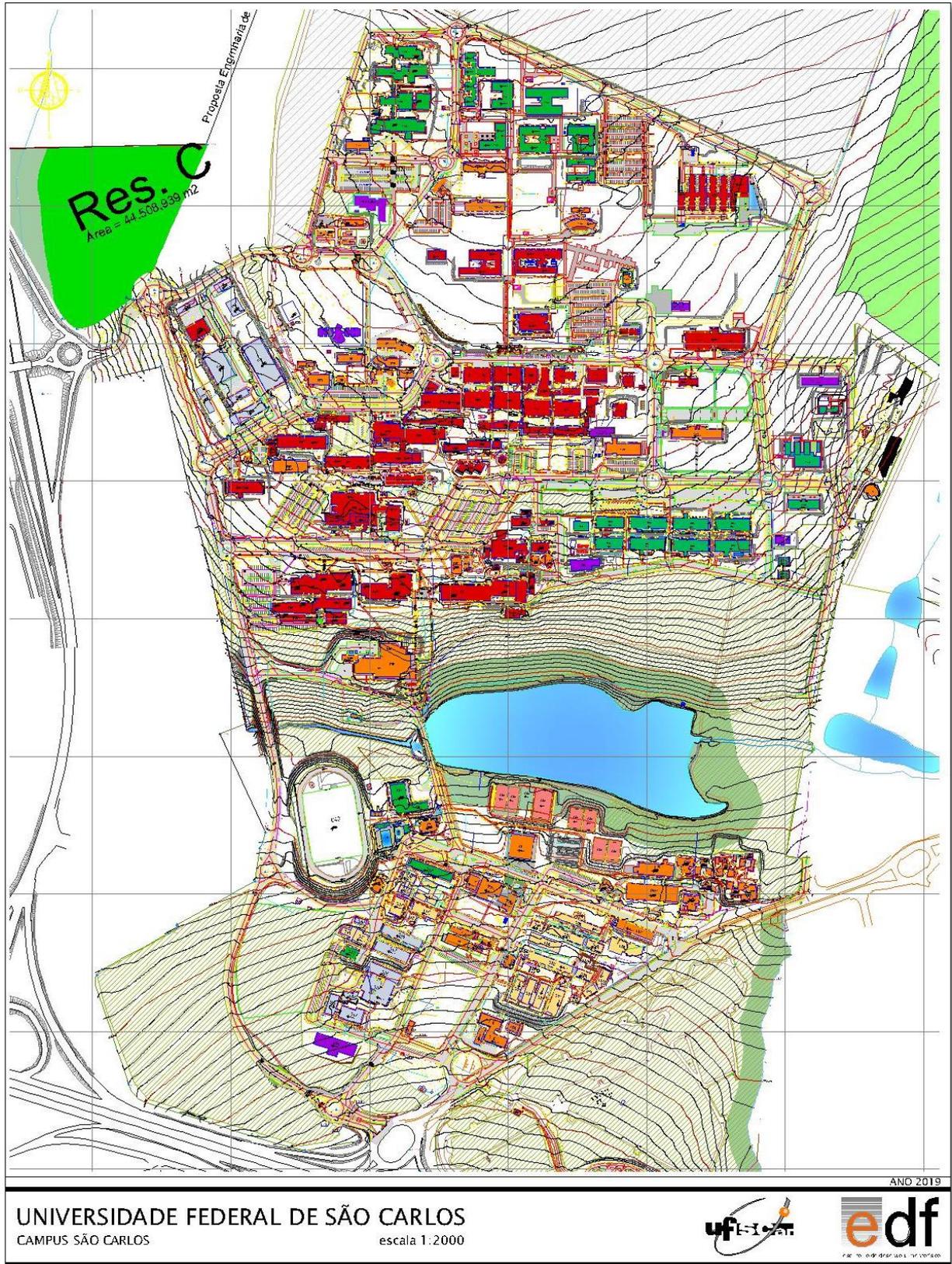
6.1 Levantamento documental da infraestrutura do campus

O levantamento das redes de infraestrutura foi realizado a partir da base dados do patrimônio físico civil existente no Campus, registrado em arquivo com extensão DWG, desenvolvido através do software AutoCAD® da Autodesk®. Essa base, apresentada na Figura 8, foi adquirida mediante solicitação formal à SeGEF através do site de solicitação de cessão de projetos de edifícios da UFScar.

O arquivo disponibilizado pela SeGEF possui o levantamento de todo o campus de São Carlos - SP da UFScar, contemplando as edificações, redes de água, esgoto, drenagem, lógica, elétrica, segurança contra incêndio, levantamento de ruas e calçadas, arborização, dentro outros, distribuídos em 677 camadas diferentes.

Todas as redes subterrâneas de infraestrutura presentes no arquivo disponibilizado pela SeGEF tem um mesmo padrão de representação, sendo formadas por linhas de mesma espessura, diferenciadas apenas pela cor e pelo nome da camada a qual fazem parte. A nomenclatura das camadas identifica apenas os sistemas aos quais as redes fazem parte, sendo que nenhuma outra informação sobre as redes é evidenciada pelo levantamento, como material, dimensões, profundidade entre outros. Também estão representadas as caixas de passagem das redes, porém também com um baixo nível de detalhamento, sendo que todas as caixas possuem um padrão de representação semelhante entre si, não sendo possível identificar nenhuma característica dessas caixas além de seu posicionamento dentro do Campus.

Figura 8 - Base do Campus da UFSCar São Carlos.



Fonte: Adaptado SeGEF (2020)

Foi informado pela SeGEF que, apesar do arquivo disponibilizado estar na versão 2020, o último levantamento realizado e atualizado na base de dados é de 2014, sendo que, por esse motivo, provavelmente, não esteja plenamente preciso em comparação com situação *in loco*. O fato do arquivo não estar atualizado não interferiu no desenvolvimento do trabalho, pois o modelo desenvolvido foi utilizado base para os estudos e desenvolvimento do protocolo de gestão e manutenção de redes de infraestrutura.

6.2 Ferramentas BIM e SIG utilizadas na criação do modelo digital

A partir da análise das ferramentas computacionais levantadas durante a fase de contextualização, foram definidos os *softwares* utilizados na modelagem das redes de infraestrutura. Como plataforma BIM foi selecionado o CIVIL 3D®, por se tratar de uma ferramenta voltada para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura, além de ter as mesmas funcionalidades e extensão do AutoCAD®, facilitando assim o uso da base existente fornecida pela SeGEF, sem necessitar a exportação e importação de arquivos para reconhecimento pela ferramenta computacional.

Para criação da superfície do terreno em que foram implantadas as redes foi utilizado o Infracad®. Essa ferramenta possibilita gerar superfícies a partir da criação de um modelo de uma área de até 200 quilômetros quadrados, com base em imagens de satélite, e permite o georreferenciamento do modelo de acordo com a definição do datum especificado pelo projetista no gerador de modelo.

A ferramenta que foi utilizada para visualização do modelo em SIG é o QGIS®. A escolha dessa ferramenta foi feita, pois, dentre os *softwares* livres levantados nesta pesquisa, o QGIS® é o que possui a maior quantidade de recursos, possuindo as características necessárias de criação de mapas georreferenciados previstos para compatibilização de dados de bases BIM que serão criadas.

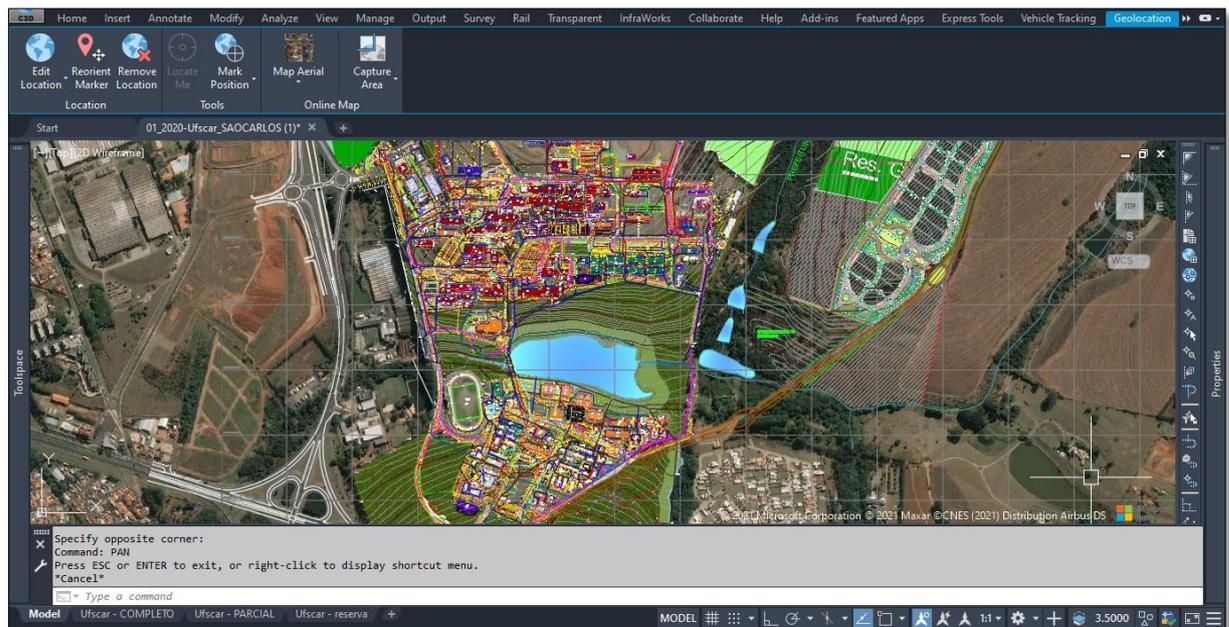
6.3 Conferência dos dados disponíveis no arquivo base da SeGEF

Antes do início do processo de modelagem foi necessário conferir o posicionamento da base de dados, para garantir que toda exportação e importação de arquivos entre softwares diferentes estarão sempre no mesmo posicionamento, garantindo assim a compatibilização correta na troca de informações entre as ferramentas. Além de estarem na mesma posição, é necessário que esse posicionamento seja georreferenciado, para que seja

possível trabalhar com SIG e possibilitar que o modelo criado seja facilmente locado por qualquer profissional que venha a utilizá-lo.

A base de dados disponibilizada pela SeGEF demonstrou estar georreferenciada no Datum Sirgas 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) no fuso 23S, estando de acordo com o Datum oficial do Brasil (IBGE, 2022) e com o fuso da região onde se localiza o campus. Essa conferência foi feita a partir do uso do *Geolocation* no CIVIL 3D®, com a definição do sistema de coordenadas SIRGAS datum, *UTM Zone 23S; Brasil 48d to 42d West* nas configurações de desenho do arquivo e, posteriormente, ativação do *Map Aerial*, resultando na sobreposição exata da base de dados existente no arquivo com a imagem de satélite, conforme é possível observar na Figura 9.

Figura 9 - Sobreposição da imagem de satélite com a base disponibilizada pela SeGEF pelo Civil3D®.



Fonte: O Autor

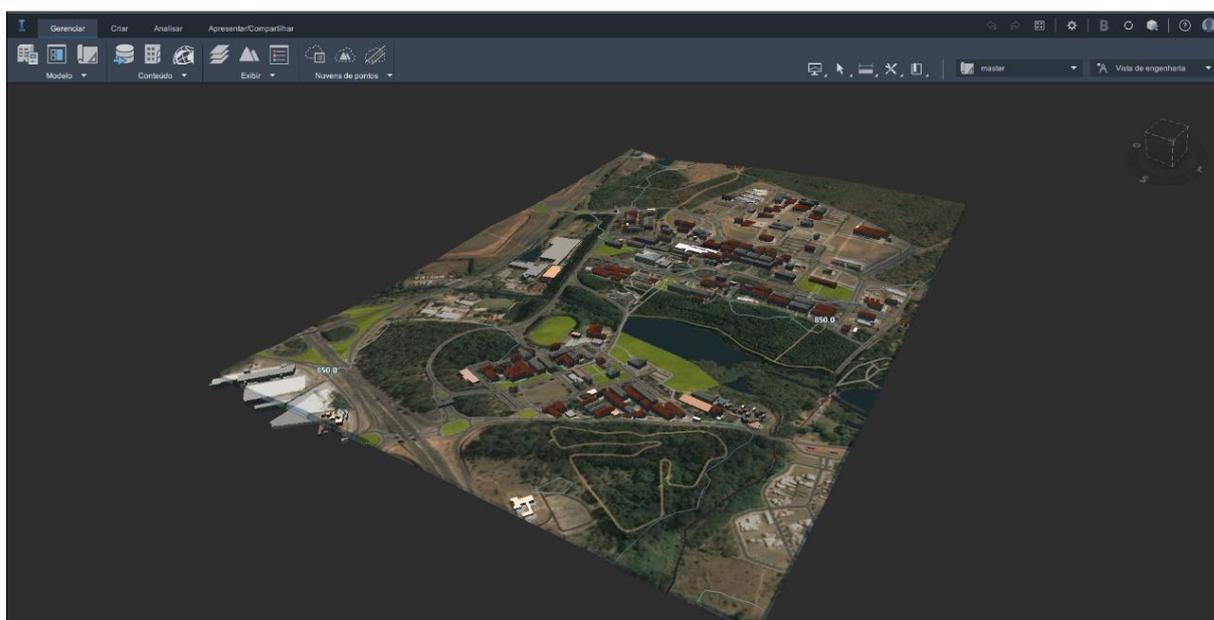
É importante ressaltar que essa verificação foi feita de forma visual, comparando o posicionamento das camadas presentes no arquivo com a imagem de satélite georreferenciada. A precisão dessa conferência é limitada pela escala visual da imagem de satélite, sendo que a maneira mais adequada de fazer uma conferência desse tipo seria com trabalho topográfico *in loco*, que conferiria em campo as coordenadas a partir de um ponto de referência e transportaria as informações levantadas com o equipamento topográfico para o arquivo.

6.4 Criação da superfície do terreno para modelagem das redes

O arquivo com a base de dados disponibilizada pela SeGEF possui curvas de nível e cotas de platôs e edificações, o que seria suficiente para criação da superfície tridimensional do campus através da ferramenta de criação de *surfaces* do CIVIL 3D®. Entretanto, ao utilizar esses dados para criação da superfície foi constatado que existiam regiões com cotas incoerentes em relação ao restante do terreno, criando pontos muito dispersos na superfície do terreno.

Para evitar ajustes manuais nas cotas da superfície corrigindo os pontos dispersos, foi criada uma superfície a partir do modelo do campus criado com a utilização do software Infraworks®, conforme observado na Figura 10.

Figura 10 - Modelo do Campus da UFSCar São Carlos criado a partir da utilização da ferramenta Infraworks® da Autodesk®.



Fonte: O Autor

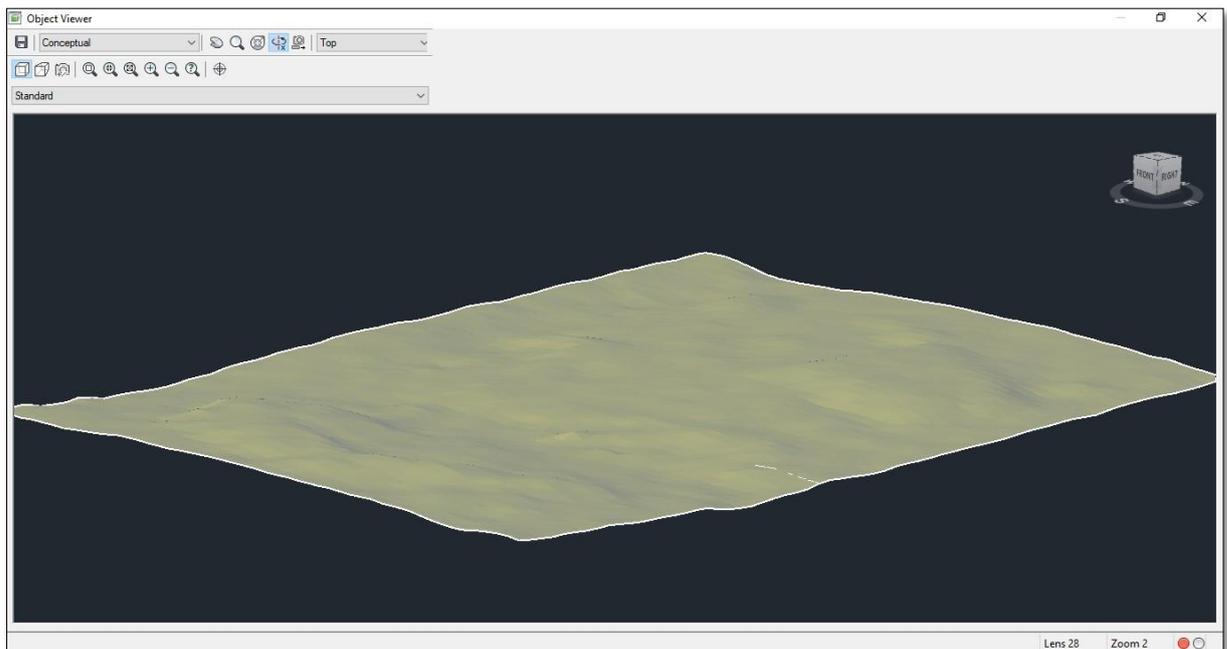
A criação dessa superfície foi realizada definindo, através de um polígono, a área no mapa da base de dados que deveria ser importada pelo *software*. Para isso, foi preciso definir o sistema de coordenadas geográficas que deveria ser seguido. Para atender o padrão brasileiro de coordenadas, que é o mesmo já utilizado no arquivo disponibilizado pela SeGEF e que serviu como base para o CIVIL 3D®, foi definido o código AS-SIR-23S que representa o “SIRGAS datum, UTM Zone 23S”, que é o fuso 23S no Datum Sirgas 2000, onde se localiza o terreno do campus de São Carlos da UFSCar. O programa gerou uma superfície a

partir de uma nuvem de pontos com malha de 30 x 30 metros para o terreno, além dessa foi gerada outra superfície específica para as ruas, a partir da identificação das mesmas pela imagem de satélite e pela criação de um perfil transversal padrão a partir das medidas reconhecidas pelo próprio programa através das imagens de satélite.

Como os *softwares* Infracad® e CIVIL 3D® são do mesmo desenvolvedor (Autodesk®) as ferramentas já são programadas com recurso pra exportação de arquivos entre elas. Para abrir o modelo foi definido o sistema de coordenadas, sendo utilizado o mesmo da criação do modelo, os objetos e os estilos. Como não era de interesse a exportação de todos os objetos, foram selecionados para exportação apenas os objetos referentes à superfície.

A superfície exportada não apresentou pontos dispersos, conforme pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Superfície exportada do Infracad® para o Civil3D®.



Fonte: O Autor

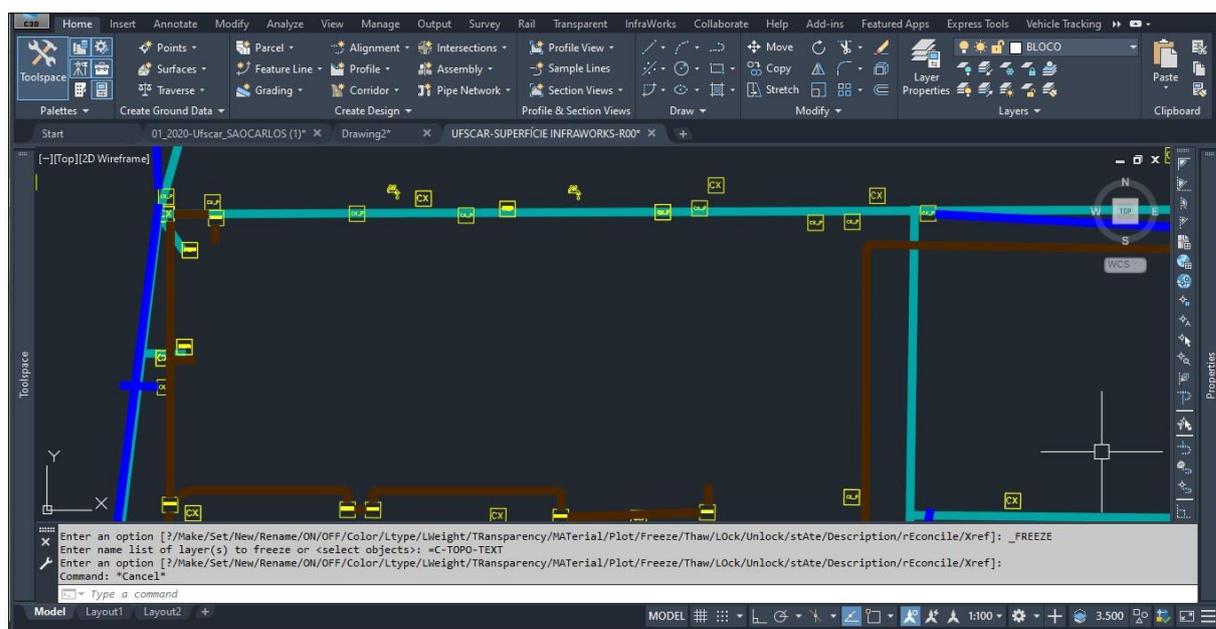
Para a continuidade desta pesquisa a superfície criada é suficiente e pode servir como alternativa na criação de superfícies em casos que não houver um levantamento topográfico da área de análise. Porém, para que um modelo computacional seja desenvolvido de maneira que replique o cenário real de maneira mais similar possível, o

levantamento da superfície deve ser feito através de levantamento topográfico realizado em campo.

6.5 Modelagem das redes de drenagem e esgoto

As representações das redes de drenagem e esgoto no arquivo disponibilizado pela SeGEF continham apenas as informações de posicionamento das tubulações e das caixas de passagem, sem nenhuma outra identificação de dados das redes, como diâmetros, profundidade e material. Além disso, existiam representações de caixas isoladas, que não estavam integradas as redes, conforme é possível observar na Figura 12, e que não foram possíveis de identificar seus usos. Como não foi possível identificar o uso dessas caixas isoladas, sem interligação com as redes, essas foram desconsideradas na modelagem.

Figura 12 - Representação das redes de infraestrutura enterradas e das caixas de passagem.



Fonte: O Autor

Para que seja possível a criação de um modelo de redes de infraestrutura é necessário dispor de algumas informações básicas sobre as redes. No caso das redes de esgoto e drenagem pode ser listado como características mínimas para uma modelagem que combine as características BIM e SIG o posicionamento georreferenciado, o tipo de material das redes, o diâmetro das tubulações, a profundidade e a declividade de todas as redes. O arquivo disponibilizado pela SeGEF dispunha de apenas uma dessas informações, que é o

posicionamento georreferenciado das redes. Dessa maneira, para que fosse possível gerar o modelo, foi necessário definir algumas premissas para modelagem.

Para definição das premissas de drenagem foi utilizado como referência as “Diretrizes Para Drenagem Urbana” emitidas pela Secretaria Municipal de Obras Públicas de São Carlos (SMOP) em julho 2015. Nessas diretrizes a SMOP define:

- Tubos a serem utilizados em obras de drenagem devem ser de concreto armado, seção circular, ponta e bolas, classe PA2;
- Diâmetro mínimo para galerias de águas pluviais deve ser de 600 mm;
- Declividade mínima para as redes deve ser 0,010 m/m ou 1%;
- Velocidade mínima das águas pluviais dentro da tubulação deve ser 0,8 m/s;
- Velocidade máxima das águas pluviais dentro da tubulação deve ser 4,0 m/s;
- Recobrimento mínimo das tubulações implantadas em vias públicas deve ser 1,10 m;
- Recobrimento mínimo das tubulações implantadas fora do leito carroçável deve ser 0,80 m.

As premissas referentes às redes de drenagem do modelo seguiram integralmente as premissas existentes nas diretrizes de drenagem de São Carlos. Para o cálculo da declividade máxima da rede de drenagem foi considerada a vazão máxima no tubo de concreto de 600 mm com 1% de declividade, mínimo permitido pelas diretrizes da SMOP, e com essa vazão calculou-se a declividade limite para respeitar a velocidade máxima estabelecida, sendo essa declividade de 5,25%. Esse valor foi encontrado a partir do uso da fórmula de Manning descrita a seguir:

$$Q = A \times \frac{Rh^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{I}}{\eta}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

A = área molhada (m²);

Rh = raio hidráulico (m)

I = declividade do tubo (m/m)

η = coeficiente de rugosidade do concreto = 0,016

Para as redes de esgoto, as premissas foram definidas utilizando a NBR 9649/1986 como referência. A NBR 9649/1986 define para as redes coletoras de esgoto sanitário:

- Diâmetro mínimo de 100 mm;
- Quando não houver dados sobre a vazão nos tubos deve ser considerado um valor mínimo de 1,5 l/s;
- Declividade mínima definida pela tensão trativa média de valor mínimo de 1,0 Pa;
- Declividade máxima deve atender a velocidade máxima de escoamento na rede de 5,0 m/s;
- Lâmina d'água dentro do tubo igual ou inferior a 75% do diâmetro do coletor;
- Recobrimento mínimo das tubulações implantadas em vias públicas deve ser 0,90 m;
- Recobrimento mínimo das tubulações implantadas fora do leito carroçável deve ser 0,65 m.

A NBR 9649/1986 não define um material padrão para as redes de esgoto, podendo ser aplicado diversos tipos de materiais, como, por exemplo, PVC, PEAD, PRFV e concreto. Para o modelo criado nesta pesquisa foi definido o uso padrão de tubos de PVC para as redes de esgoto, pois, segundo Bevilacqua (2006), são tubos usualmente utilizados por terem vantagens de transporte, manuseio, praticidade, resistência, disponibilidade e custo.

A única premissa que será realizada de forma diferente aos parâmetros levantados através da NBR 9649/1986 é o diâmetro da rede de esgoto. Apesar de não ter sido encontrado nenhum documento padrão do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de São Carlos, é de conhecimento deste autor que as redes públicas de coleta de esgoto sanitário na cidade de São Carlos são exigidas com diâmetro mínimo de 150 mm, sendo essa informação presente em diretrizes emitidas para novos empreendimentos, como descrito na diretriz emitida pelo SAAE em 26 de outubro de 2020 para um loteamento residencial em São Carlos, expressando que “O diâmetro mínimo a ser adotado na parte interna do empreendimento deve ser de 150 mm e os materiais a serem utilizados deverão ser de PVC – PBA – JEI (junta elástica integrada) em conformidade com a NBR 7362” (SAAE, 2020). Outras autarquias/concessionárias também costumam fazer essa exigência, como a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), que através da NTS 025 (2020) define que diâmetro nominal mínimo para redes de coleta deve ser de 150 mm. Sendo assim, esse foi o diâmetro adotado para a modelagem da rede.

Como não há dados sobre a vazão nos tubos, para o cálculo da declividade mínima da rede de esgoto foi considerada a vazão de 1,5 l/s no tubo de PVC de 150 mm, sendo essa declividade de 0,5%. Para o cálculo da declividade máxima foi considerada a vazão máxima no tubo de PVC de 150 mm com 0,5% de declividade e com essa vazão calculou-se a declividade limite para respeitar a velocidade máxima estabelecida. Entretanto, o cálculo mostrou que mesmo com uma declividade de 100% não era atingida a velocidade máxima para essa vazão, assim, adotou-se a declividade máxima de 10%. Os cálculos de vazão, assim como para drenagem, foram realizados utilizando a fórmula de Manning, utilizando coeficiente de rugosidade para tubos de PVC de 0,013. Já a verificação da tensão trativa foi realizada a partir da fórmula descrita a seguir:

$$T = \gamma \times R_h \times I$$

Onde:

T = tensão trativa (valor mínimo de 0,1 kfg/m²);

R_h = raio hidráulico (m);

I = declividade do tubo (m/m);

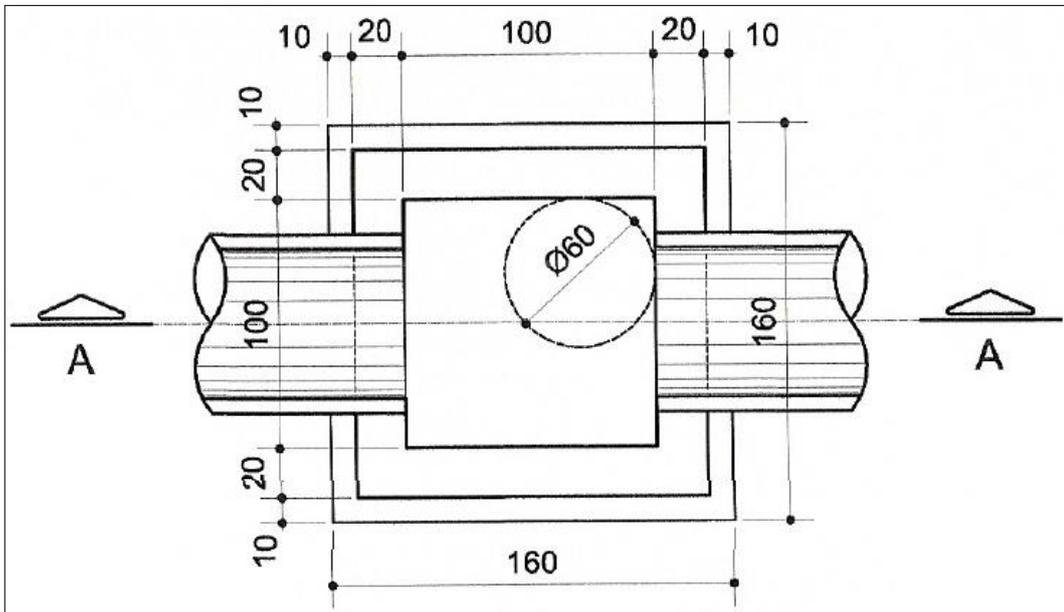
γ = peso específico do líquido (adotado 10⁴ N/m³ para esgoto)

Quanto aos poços de visita (PV) foi feita uma padronização para as duas redes, sendo circulares com diâmetro de 1,00 m para as redes de esgoto, e quadrados com lados de 1,60 m para as redes de drenagem.

Esse padrão de PV para a rede de esgoto foi determinado de forma a atender a NBR 9649/1986, que define a dimensão mínima em planta da câmara de um PV em 0,80 m. Dessa maneira, o diâmetro de 1,00 m atende o mínimo exigido na NBR além de possibilitar a modelagem com um número inteiro, o que favorece a verificação de dimensões no modelo.

Já o padrão de PV para rede de drenagem foi definido através de detalhes de projetos de drenagem aprovados em 2018 pela SMOP para loteamentos residenciais. Para galerias pluviais com diâmetros de 600 mm são previstos poços de visitas quadrados com medidas externas de 1,60 m em cada lado, conforme apresentado na Figura 13. A rede referente ao projeto aprovado em 2018 teve o início de sua execução em dezembro de 2021, sendo possível observar na Figura 14 um dos poços de visita que fará parte da rede de drenagem, ainda durante o seu processo de execução.

Figura 13 - Planta do PV para tubos de 600 mm presente no projeto de drenagem de um loteamento residencial em São Carlos, aprovado pela SMOP em 2018.



Fonte: Projeto de drenagem aprovado pela SMOP em 2018.

Figura 14 - Poço de visita para rede de drenagem em loteamento residencial em São Carlos, em execução.



Fonte: O Autor (janeiro/2022)

O Quadro 5 apresenta o resumo das premissas básicas de modelagem definidas para as redes de drenagem e esgoto do modelo criado.

Quadro 5 - Resumo das premissas básicas para modelagem das redes de esgoto e drenagem.

Redes	Material	Diâmetro (mm)	Recobrimento Mínimo em Vias Públicas (m)	Declividade Mínima (%)	Declividade Máxima (%)	Dimensões dos PVs
Esgoto	PVC Ocre	150	0,90	0,50	10,00	Diâmetro de 1,00 m
Drenagem	Concreto PA2	600	1,10	1,00	5,30	Quadrado lado 1,60 m

Fonte: O Autor

Essas premissas foram definidas para serem usadas como referência na modelagem das redes, devido à falta de informação cadastral das mesmas. No cenário ideal a rede já estaria cadastrada com todas as informações, não sendo necessário adotar nenhum parâmetro básico.

A necessidade de assumir tais pressupostos podem trazer dificuldades durante a modelagem devido a possíveis interferências entre redes que podem ocorrer. Isso fará com que seja necessário assumir variações nas cotas que podem diferenciar o modelo em relação às redes existentes. As diferenças entre o modelo e a situação real *in loco* podem criar dificuldades nos processos de manutenção, com informações divergentes que só serão identificadas no momento da execução da manutenção das redes. O modelo deve ser passível de atualizações, para que à medida que forem sendo realizadas manutenções e/ou ampliações essas informações sejam revisadas como *As Built*, para que o modelo fique cada vez mais próximo do real, aumentando assim a sua efetividade.

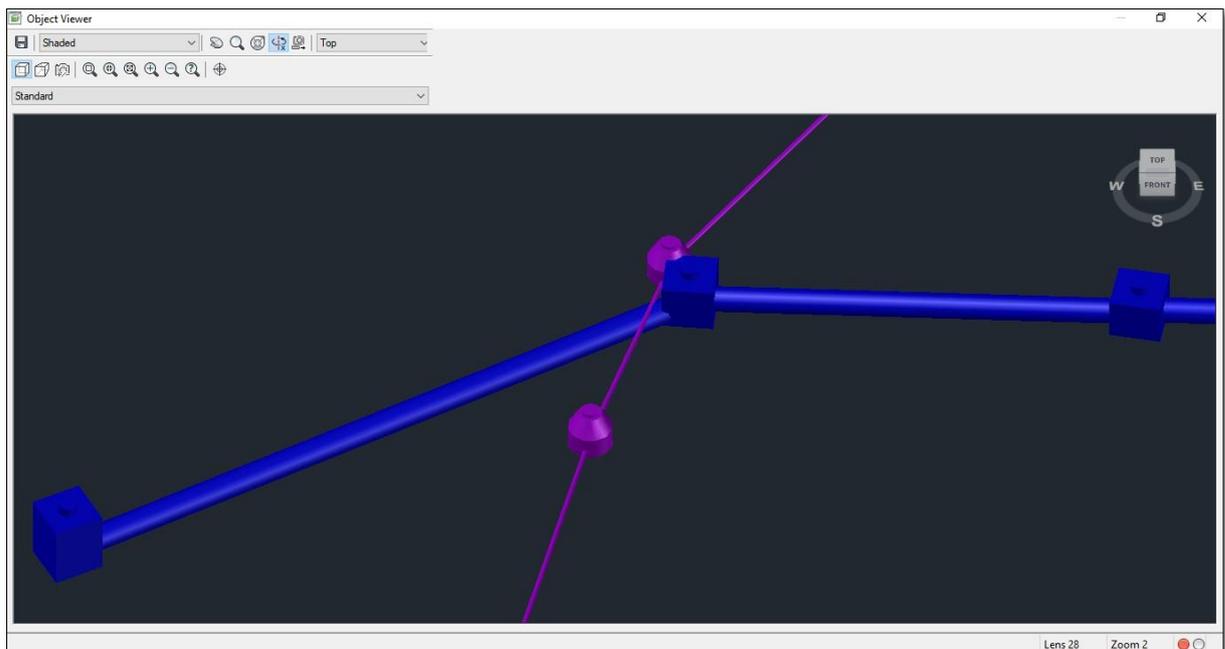
A Figura 15 apresenta a representação tridimensional de um trecho do modelo das redes de esgoto e drenagem, em que é possível observar como em alguns trechos as redes passam próximas uma da outra.

Além das informações já apresentadas para que fosse possível realizar a modelagem das redes existentes, há outras informações que são necessárias conter no modelo para que seja possível realizar as etapas de gestão e manutenção das redes corretamente. Entretanto, não é possível inserir esses parâmetros no modelo sem informações prévias das redes existentes, devendo ocorrer a complementação desses dados à medida que novas informações sobre as redes forem auferidas. Esses parâmetros foram criados sem dados no modelo, para que pudessem ser preenchidos posteriormente, sendo:

- Marca e fabricante dos materiais;

- Data da instalação;
- Vida útil;
- Anexos e/ou hiperlinks conectando os objetos do modelo com manuais de instalação e manutenção;
- Histórico de manutenção contendo descrição de cada processo com identificação do problema e da solução aplicada, juntamente com o registro fotográfico do serviço;
- Registros de inspeções com descrição da avaliação das instalações;
- Informações sobre o solo para alocação das ferramentas necessárias para escavação;
- Nos casos em que a rede passar dentro de áreas de terceiros ou áreas públicas, como sistemas de lazer, é necessária a identificação da matrícula da área que descreva a faixa de servidão existente.

Figura 15 - Visualização tridimensional simplificada das redes de drenagem (azul) e esgoto do modelo (roxo).



Fonte: O Autor

A inserção completa dessas informações dentro do modelo permite tomadas de decisões mais rápidas e assertivas nos processos de gestão e manutenção das redes, permitindo que a equipe de manutenção se mobilize para execução dos serviços já com todas as informações necessárias disponíveis melhorando o desempenho do trabalho, reduzindo tempo e custos.

6.6 Divisão das redes conforme administradores

Para simular uma situação real de integração de arquivos, as redes foram modeladas de forma independente. Dessa maneira é possível simular diferentes administradores que fazem parte do processo decisório de gestão e manutenção das redes de infraestrutura do meio urbano. No caso da cidade de São Carlos-SP, onde se localiza o Campus da UFSCar, objeto deste estudo de caso, a gestão e manutenção das redes de drenagem pluvial são de responsabilidade da prefeitura municipal, mais precisamente da SMOP, enquanto que a gestão e manutenção das redes de captação de esgoto sanitário são de responsabilidade do SAAE.

A modelagem independente de cada rede se faz necessária para que o processo de transferência de dados entre plataforma BIM e SIG simule com precisão uma situação hipotética de aplicação dos protocolos de modelagem BIM e de integração desses modelos em uma plataforma SIG em que todos esses administradores teriam acesso. Dessa forma, cada administrador teria acesso aos dados completos das redes de sua responsabilidade no modelo BIM criado, mas também teria acesso aos dados simplificados das redes de responsabilidade dos outros administradores.

Buscando simular de forma mais precisa possível um cenário real, cada uma das redes foram separadas em duas, encenando áreas urbanas implantadas em tempos diferentes, mas com as redes de infraestrutura interligadas. A área do campus da UFSCar em São Carlos facilita a segregação das redes de drenagem e esgoto em duas por ter um lago e um córrego que separam o campus em duas partes, conhecidas como Área Sul e Área Norte e representadas na Figura 16. O ponto final de lançamento das redes de drenagem ocorre no lago e no córrego e a rede de esgoto também faz sua interligação com o interceptor de esgoto próximo ao córrego, por ser um ponto baixo, o que faz com que essa divisão da área em duas seja facilmente replicada na separação das redes. Com isso, foi utilizada a região do córrego e do lago como divisor de redes, simulando assim a execução das redes da Área Norte em um momento e as redes da Área Sul em outro momento.

A integração dos arquivos foi realizada posteriormente em um arquivo exclusivo para compatibilização das redes a partir da ferramenta de referência externa. Esse arquivo se mantém interligado aos arquivos originais, sendo atualizado automaticamente a medida que os arquivos de origem são revisados.

Figura 16 - Imagem de satélite da UFSCar identificando as áreas Norte e Sul e o córrego que separa as duas áreas.



Fonte: Google Earth (2022), adaptado pelo autor

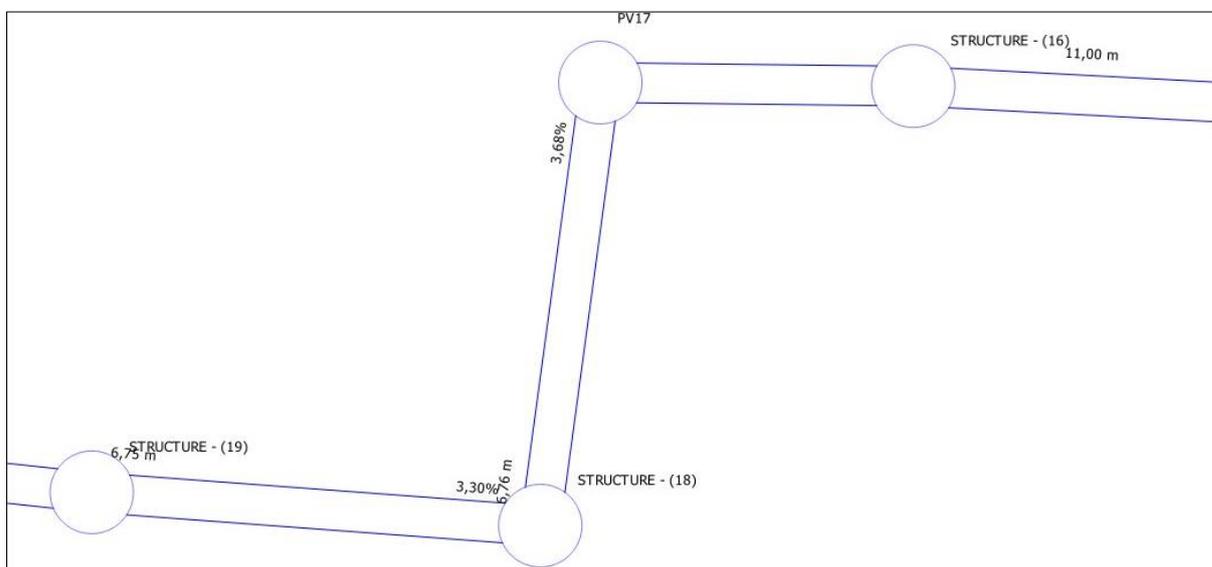
6.7 Transferência BIM-SIG

Com os modelos das redes finalizados a próxima etapa foi a integração dos dados e informações de todos os modelos em uma mesma base SIG. A plataforma utilizada para integração dos arquivos foi o QGIS®, previamente definido neste trabalho. O QGIS® suporta diversos tipos de formatos de dados vetoriais, incluindo dados DWG/DXF, formatos tradicionais dos arquivos de origem CIVIL3D®. O QGIS® dispõe de uma ferramenta dedicada para importação de arquivos nos formatos DWG/DXF que permite a adição de elementos importados ao projeto para um banco de dados espaciais em formato GeoPackage. Essa ferramenta permite a importação de todas as camadas vetoriais do arquivo importado, como pontos e linhas, mantendo um estilo semelhante à aparência que possuíam no arquivo de origem.

Ao utilizar essa ferramenta para importar diretamente os arquivos DWG criados no CIVIL3D® para o QGIS® ocorre a perda de uma grande quantidade de dados, transformando as redes em representações vetoriais simplificadas de linhas. Fazendo a transferência de dados dessa maneira a única informação que estaria disponível na base SIG seria o posicionamento georeferenciado das redes e o uso dela, definido pelo nome da camada. Até mesmo a informação sobre os PVs é perdida.

Foram realizadas diversas tentativas de importação para tentar reduzir a perda de dados possibilitando um modelo SIG mais completo de informações. A melhor solução encontrada foi a de exportar o arquivo em CIVIL3D® para AutoCAD® antes de importar pelo QGIS®. O arquivo original utiliza objetos em vez de representações vetoriais, o que impossibilita a leitura correta pelo QGIS®. Ao realizar a exportação para AutoCAD® essa transformação de objetos para representações vetoriais ocorre em softwares do mesmo desenvolvedor, fazendo com que a representação gráfica se mantenha. Essa mudança ainda traz uma grande perda de dados não vetoriais, mas possibilitou uma representação gráfica muito mais completa, como é possível observar na Figura 17.

Figura 17 – Representação gráfica da rede de drenagem pelo QGIS®, exportada do arquivo AutoCAD®.



Fonte: O Autor

A exportação dos dados nesse formato permitiu a representação das redes e dos PVs na mesma escala do arquivo de origem. Também foi possível exportar os textos incluídos no arquivo de origem. Nesse ponto foi possível observar que textos com algarismos não reconhecidos pelo QGIS®, como \varnothing utilizado para indicação de diâmetro no arquivo original,

são excluídos da representação, item relevante a ser levado em consideração caso seja necessária a presença desse texto na base SIG.

Apesar dos diversos dados transferidos nesse formato, como posicionamento, representação vetorial, informações de texto e camadas, a base SIG ainda possui uma redução no volume de dados considerável em relação à base BIM original.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um fluxo de trabalho interativo e cooperativo no formato BIM para infraestrutura urbana evidencia grande complexidade. O motivo que inicialmente se destaca é a diferença de escala, o que, atualmente, impossibilita trabalhar com arquivos em escala urbana com a mesma abundância de dados que um modelo de edificação. Corroborando com as conclusões de outros autores, como Lafioune e St-Jacques (2020) e Liu, Zeng e Bian (2019) citados na revisão de literatura, existem outros fatores que aumentam essa complexidade e podem ser até mais difíceis de superar do que a grande escala de trabalho para áreas urbanas.

Quando se trata de uma edificação, mesmo que durante a fase de projetos existam diversos atores que participem da criação e desenvolvimento do modelo que será desenvolvido, usualmente as edificações possuem um agente proprietário responsável pelas tomadas de decisões e que fica responsável pela gestão e manutenção desse ativo durante a sua fase de uso. Já para a infraestrutura urbana diversos atores participam das tomadas de decisão, pois cada rede de infraestrutura costuma ser de responsabilidade de um agente diferente, o que dificulta o trabalho integrado de manutenção dos ativos.

Mesmo que a integração do trabalho de manutenção desses ativos não seja uma necessidade dos gestores das redes, pois a operação e demandas de cada uma ocorrem independentes das outras, o espaço urbano ocupado é o mesmo. Isso faz com que surja a necessidade da troca de informações que permitam o trabalho de cada gestor sem que haja danos às outras redes. Essa necessidade se intensifica nos casos de redes enterradas, em que, muitas vezes, não é possível saber a localização exata das redes existentes antes das aberturas das valas para manutenção.

A maneira encontrada para solucionar o problema de choques dos trabalhos de manutenção com as redes existentes é a criação de uma base em que ocorra a compatibilização de todas as redes. Com isso, um gestor que programe a manutenção de

uma determinada rede já teria a informação da existência de outras redes no mesmo local antes mesmo de deslocar a equipe para execução dos serviços.

A informação sobre outras redes no mesmo local onde será feita a manutenção é apenas um dos muitos dados que um gestor precisa para que possa planejar a manutenção de uma rede. Grande parte desses dados é de interesse único do gestor responsável pela rede, não sendo necessário expor essas informações na base onde serão compatibilizadas todas as redes do espaço urbano.

O formato desenvolvido no estudo de caso e que pode ser adotado pelos gestores das redes de infraestrutura urbana é a criação de modelos BIM independentes, onde cada agente desenvolveria os seus modelos de redes, com as informações necessárias para atender a demanda deles. Esses modelos BIM, ricos em informações, seriam de uso exclusivo do gestor da rede, que durante os processos de manutenção faria a retroalimentação dos dados no modelo, garantindo que esteja sempre atualizado e o mais completo possível. Apenas partes desses dados necessitam ser compartilhados com os outros gestores para que esses possam prever os conflitos durante os procedimentos de manutenção. Para isso é proposta a criação de uma base SIG para compatibilização dos dados vetoriais georreferenciados de todos os modelos BIM criados por cada gestor.

Para que seja possível organizar um fluxo de trabalho para atender essa configuração de gestão é preciso ter métodos bem definidos para levantamento e documentação de dados, definição de padrões de trabalho e formatação de arquivos. Para atender essas demandas, sugere-se a criação de protocolos que atendem os diferentes cenários que podem ocorrer, sendo:

- Modelagem de redes novas;
- Modelagem de redes existentes não catalogadas ou parcialmente catalogadas.

Redes novas possibilitam um maior controle na documentação de dados, desde que feito de forma precisa a datar do início do desenvolvimento dos projetos. Enquanto que redes existentes não catalogadas requerem levantamentos e atualizações constantes, podendo carecer da adoção de dados temporários até que esses sejam validados *in loco*. Cada um desses casos tem as suas particularidades e, por isso, devem ser tratados de formas distintas para alcançar os mesmos objetivos.

7.1 Necessidade de uma base para integração de dados

Como os diferentes atores envolvidos na gestão e manutenção das redes de infraestrutura urbana possuem necessidades diferentes e responsabilidades independentes, enquanto que, ao mesmo tempo, dividem os mesmos espaços urbanos, é necessário que exista uma base de dados centralizada onde toda a informação referente às redes de infraestrutura possa ser facilmente encontrada, corroborando com o descrito pelos autores Vilventhan, Razin e Rajadurai (2020).

Essa base de dados serviria para compatibilizar as informações de todas as redes, minimizando problemas de interferência durante processos de manutenção. Como grande parte da infraestrutura urbana fica enterrada, é necessário ter o cadastro dessas redes de fácil acesso aos operadores para evitar danos às redes existentes durante a abertura de valas para manutenção e facilitar o processo de planejamento para criação e ampliação de novas redes.

O formato que se mostrou mais adequado para atender essa demanda é a criação de uma base de dados em nuvem através de uma plataforma SIG, onde cada gestor ficaria responsável por adicionar os dados referentes às redes de sua responsabilidade.

Para que seja possível fazer uma compatibilização nesse formato é necessário que cada gestor tenha o controle e a documentação das redes de sua responsabilidade por meio da metodologia BIM. Para facilitar o uso dos arquivos computacionais em grande escala, as redes podem ser catalogadas em n arquivos diferentes, a partir de uma abordagem modular, e tendo uma base BIM centralizadora apenas para visualização, sendo as alterações feitas nos arquivos primários e automaticamente atualizadas no arquivo base.

O formato de documentação das redes BIM de diferentes gestores pode ser feito de forma independente, pois cada rede irá exigir um modelo de informações diferente em relação à outra, sendo responsabilidade de cada gestor definir quais são os dados relevantes que devem ser registrado em sua própria base de dados.

Apesar da autonomia no formato entre as bases de dados BIM de cada um dos N gestores envolvidos, é necessário que haja uma padronização mínima que possibilite a integração desses dados na base SIG. Para que seja possível exportar informações de diferentes bases de dados para uma base centralizada é necessário que cada arquivo de

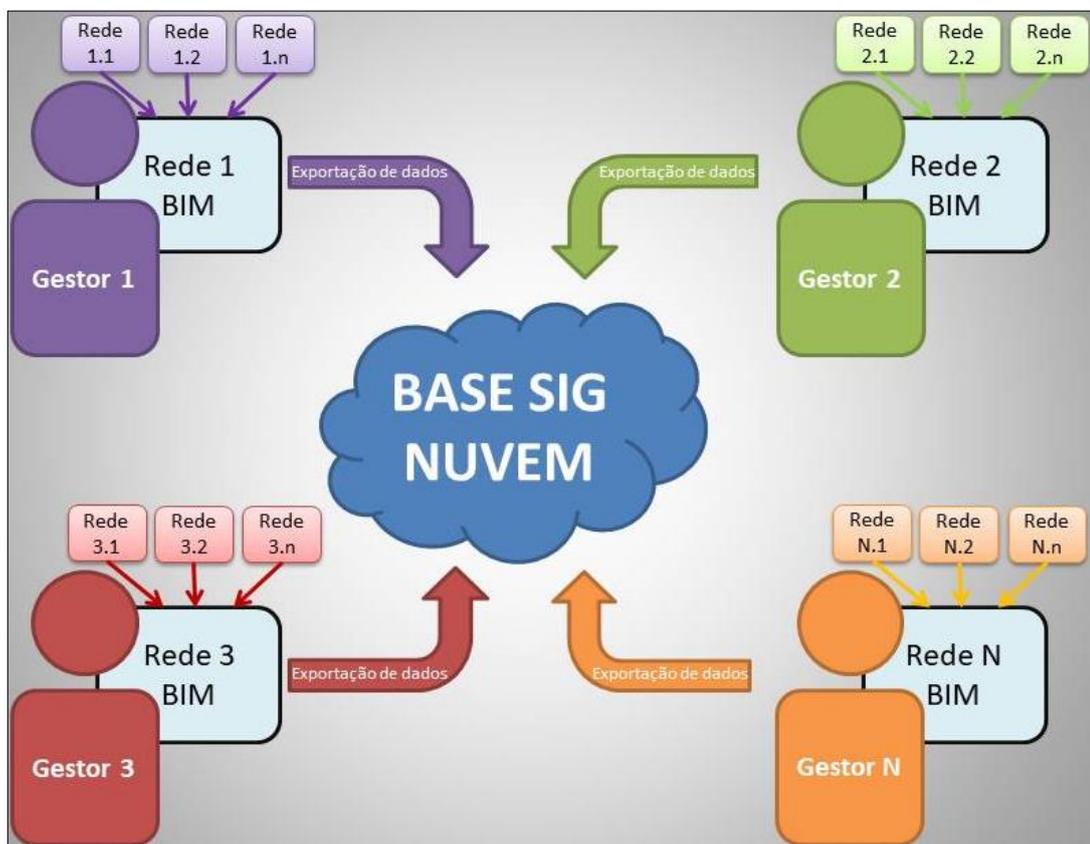
origem esteja em um formato reconhecido pela base central que irá receber todos esses arquivos.

Os dados adicionados à base SIG não precisam ser tão completos de dados quanto seus arquivos de origem. Muitas das informações dos arquivos de origem podem ser de interesse único do gestor responsável pela rede de infraestrutura em questão. As informações necessárias para compartilhamento na base de dados central podem ser simplificadas e resumidas a:

- Localização georreferenciada;
- Representações vetoriais;
- Identificação do uso (água potável, esgoto, drenagem, energia elétrica, gás etc.);

O compartilhamento dessas informações, criando um fluxo colaborativo conforme o apresentado na Figura 18, melhora a assertividade em execuções de manutenção em redes de infraestrutura ao prever riscos existentes de colisão de máquinas e ferramentas com outras redes existentes.

Figura 18 - Fluxo de trabalho BIM com compartilhamento de informações em base colaborativa SIG em nuvem.



Trabalhos colaborativos em nuvem já são desenvolvidos através do uso de plataformas BIM durante a fase de desenvolvimento de projetos de edificações. A diferença proposta neste trabalho é a realização de trabalhos colaborativos em nuvem durante as fases de operação de redes de infraestrutura através do uso de uma base SIG para receber dados de N bases BIM desenvolvidas por diferentes gestores.

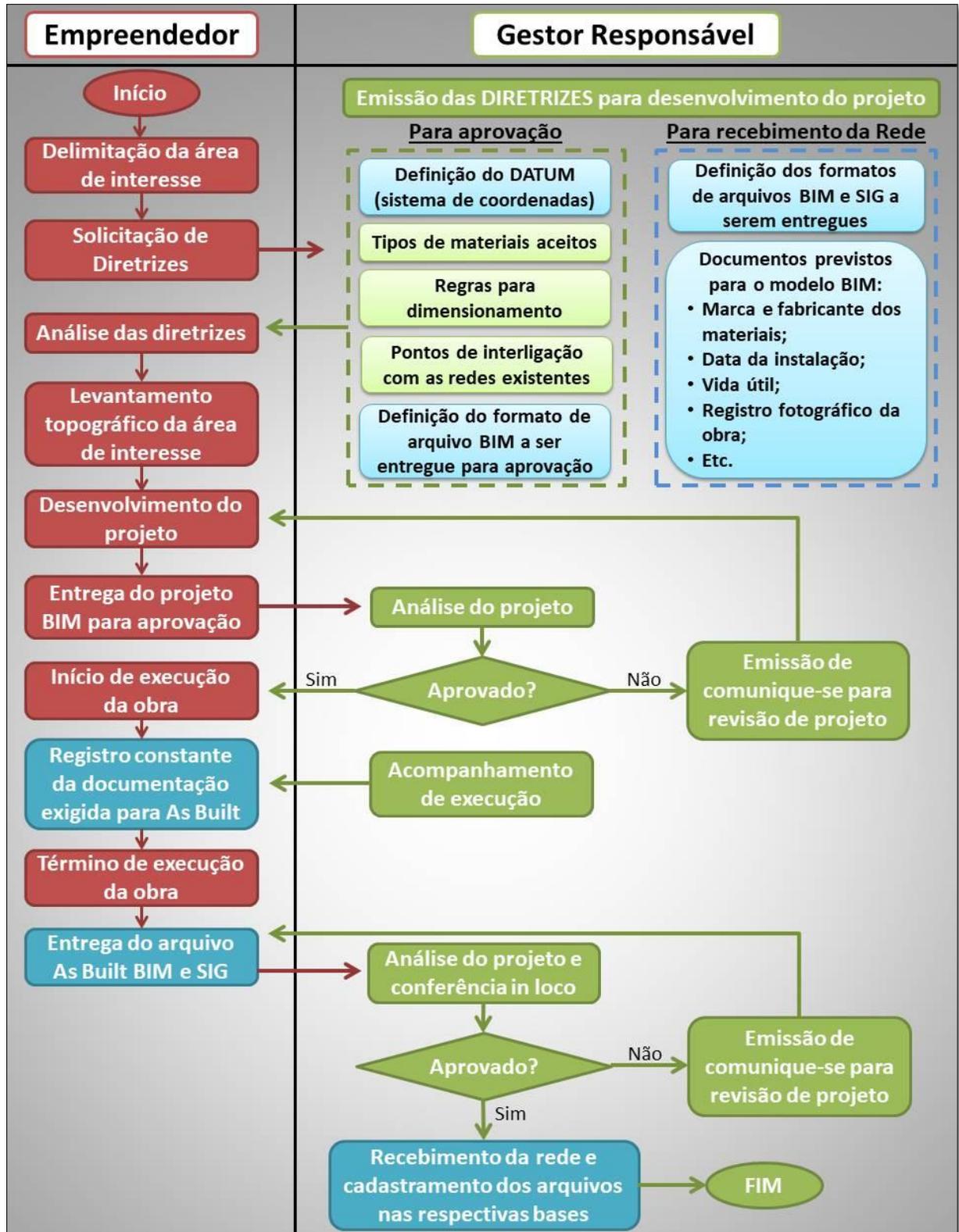
7.2 Protocolo de modelagem para redes novas

Uma rede de infraestrutura urbana, antes de ser executada, precisa passar por um processo de aprovação nos órgãos públicos, agências e concessionárias competentes. Por simplificação, esses 3 possíveis agentes serão identificados neste trabalho de forma genérica como “órgãos”. Cada órgão é incumbido pela análise e aprovação da rede que esta em sua responsabilidade. Esses órgãos, que na escala municipal podem ser prefeituras e autarquias/concessionárias, são responsáveis por emitir as diretrizes de projetos que direcionarão o desenvolvimento dos projetos pelo empreendedor. Nesse momento, esses órgãos podem definir um padrão de modelagem que devem ser entregue, juntamente com os projetos físicos, para aprovação. Assim como, exigir um modelo *As Built* ao término das obras para cadastro no sistema.

O gestor que pretende ter uma metodologia de trabalho BIM durante as etapas de operação e manutenção das redes de infraestrutura deve exigir já na fase de projetos a aplicação de um protocolo de modelagem que atenda as suas demandas. Da mesma maneira, se gestores responsáveis pelas redes de infraestrutura de uma cidade pretendem ter uma base SIG onde serão compatibilizados todos os projetos de redes de infraestrutura, estes também devem definir um padrão de recebimento de arquivo que permita a transferência de dados dos modelos BIM para a base SIG.

A aplicação do protocolo de modelagem deve ser padrão para projetos oriundos de todas as origens, ou seja, projetos internos, da própria autarquia/concessionária ou prefeitura, e projetos externos, usualmente realizados por empreendedores. A Figura 19 apresenta um fluxograma com o passo a passo para o desenvolvimento e cadastro de uma nova rede ao sistema existente. Nesse fluxograma existe uma divisão por cores, onde as etapas de responsabilidade do empreendedor estão em vermelho, as do gestor em verde e as etapas específicas para atender o cadastro das redes em BIM e SIG estão em azul.

Figura 19 - Fluxograma para desenvolvimento e cadastramento de novas redes de infraestrutura nas bases BIM e SIG pré-estabelecidas.



Fonte: O Autor

O fluxograma da Figura 19 prevê a execução da nova rede por um empreendedor, mas esse mesmo fluxograma pode ser aplicado caso a execução da rede seja de responsabilidade do próprio gestor, que deverá aplicar esses processos internamente.

Nos subitens a seguir são detalhadas as etapas referentes ao protocolo de modelagem para novas redes, representados em azul na Figura 19. A descrição do protocolo é genérica, pois se refere apenas as informações de modelagem que devem ser previstas para qualquer tipo de rede de infraestrutura que permitam a utilização correta do modelo criado para os processos de gestão e manutenção dessas redes. Informações referentes à definição de materiais, premissas para dimensionamento, dimensões mínimas etc, fazem parte do padrão de trabalho de cada gestor e devem ser definidos de forma independente.

7.2.1 Determinação do sistema de coordenadas geográficas

Uma das maneiras para que seja possível fazer sobreposições e compatibilizações de diferentes projetos de forma precisa e ágil é a definição de um ponto de referência entre os arquivos. Ao trabalhar com ferramentas computacionais que possuem recursos que possibilitem o trabalho em coordenadas geográficas não é necessário ter um ponto de referência, desde que seja definido um DATUM padrão a ser utilizados em todos os arquivos.

Ao definir um sistema de coordenadas geográficas padrão a ser adotado nos projetos, garante-se:

- Melhoria de produtividade, devido à economia de tempo nos processos de compatibilização;
- Agilidade nas trocas de informações entre diferentes arquivos;
- Facilidade na conferência e locação de redes in loco;
- Possibilidade de integração com ferramentas SIG.

Para gestores que desejam trabalhar com SIG a determinação do sistema de coordenadas geográficas é um item obrigatório. Para projetos desenvolvidos para regiões brasileiras a recomendação é que seja utilizado o sistema de referência geocêntrico SIRGAS 2000, pois se trata do DATUM oficial em uso no país desde fevereiro de 2005.

Além de não ter respaldo na legislação, a adoção de outros sistemas de coordenadas pode causar inconsistências na compatibilização de diferentes bases de dados georreferenciados. Até mesmo a utilização do referencial SAD 69 (South American Datum 1969), que já foi aceito como DATUM oficial no Brasil, trará dificuldades na compatibilização

com arquivos em SIRGAS 2000, pois existem diferenças nas coordenadas que representam a posição dos objetos nessas duas bases de dados.

7.2.2 Definição dos formatos de arquivos BIM e SIG a serem utilizados

O órgão responsável pela gestão de uma rede precisará definir qual a ferramenta computacional BIM será utilizada na sua gestão de dados. Assim como, os órgãos responsáveis pelas diferentes redes precisarão definir qual a ferramenta computacional SIG será utilizada para compatibilização de todas essas redes.

Na emissão das diretrizes existem duas possibilidades que podem ser utilizadas. A diretriz pode exigir que os arquivos BIM e SIG entregues já estejam no mesmo formato de arquivo utilizado pelo gestor ou podem ser solicitados arquivos em formato padrão neutro para transferência de dados.

Caso seja estabelecido que serão aceitos os formatos de dados neutros é importante se atentar nos processos de exportação e importação desses arquivos, para que não sejam perdidos dados durante os processos de transferência.

Para modelos BIM, o formato padrão internacional é o IFC. Para que uma ferramenta computacional seja considerada BIM ela precisa possuir alguma interoperabilidade com formato IFC. Nem todos os dados de elementos de um modelo BIM fazem parte da especificação normatizada do IFC, sendo muitas propriedades internas das ferramentas computacionais. Por esse motivo, podem ocorrer perdas de dados em processos de importação e exportação entre diferentes ferramentas BIM.

Outro formato padrão internacional e neutro que pode ser utilizado é o CityGML. O CityGML possibilita o intercâmbio de dados e informações geoespaciais, podendo ser utilizado para representações tridimensionais digitais dos elementos físicos de cidades. Entretanto, da mesma maneira que IFC, podem ocorrer perdas de informações durante os processos de transferência de dados devido as propriedades internas das ferramentas computacionais.

7.2.3 Informações mínimas exigidas para os modelos BIM e SIG

Além das informações já características que são exigidas na aprovação de um projeto de rede de infraestrutura urbana, como posicionamento das redes, materiais, dimensionamento, quantitativos, dentre outros, é necessário que sejam exigidas

informações complementares, de forma que os modelos BIM sejam desenvolvidos para atender um padrão de representação LoD 500, correspondendo à etapa de *As Built* da obra. É importante atingir esse nível de detalhamento para utilização do modelo em futuros processos de gestão e manutenção. A partir da revisão de literatura realizada, juntamente com as informações levantadas pelo estudo de caso, ficou identificado que para atingir esse nível de detalhamento é necessário que os modelos contenham informações como:

- Marca e fabricante dos materiais – apesar de muitos materiais seguirem um padrão normatizado de dimensionamento, o que possibilitaria trabalhar com materiais de diferentes marcas e fabricantes em conjunto, é possível que existam peças específicas que não possuem conexões padrão. Com isso, uma especificação genérica de materiais pode acarretar em atrasos na execução dos serviços caso ocorram dificuldades de ligações não previstas com antecedência;
- Data da instalação e vida útil – essas informações em conjunto irão possibilitar ao administrador da rede que seja estimado o período de tempo em que cada objeto irá funcionar de maneira adequada sem perder suas características essenciais, desde que seja previsto um plano de manutenção preventiva que permita o atendimento da VUP. Com o aumento do risco de funcionamento inadequado ao término da VUP dos bens, essas informações também ajudarão a prever gastos futuros significativos com manutenções corretivas ou substituições de redes;
- Anexos e/ou hiperlinks conectando os objetos do modelo com manuais de instalação e manutenção – informações como essa permitem que equipes de manutenção que ainda não tiveram contato ou tem pouca experiência com determinado serviço possam se informar sobre instruções de instalação, manutenção, montagem e segurança, aumentando a produtividade e eficiência da tarefa;
- Informações sobre o solo local para alocação das ferramentas necessárias para escavação em casos de redes enterradas e também necessidade de troca de solo para aterro de valas – durante a abertura das valas para instalações das redes enterradas é possível observar características do solo que possam necessitar de maquinários específicos, por exemplo, a utilização de rompedores para solos rochosos. Também pode ocorrer a necessidade de troca no solo no momento de reaterrar a vala, pois o solo local pode ter a presença de fragmentos de rocha, por

exemplo, que possibilitam o rompimento da rede durante a compactação. Essas informações precisam estar descritas no modelo para eventuais aberturas de novas valas, prevendo com antecedência todos os equipamentos e materiais necessários a serem utilizados;

- Nos casos em que a rede passar dentro de áreas de terceiros ou áreas públicas, como sistemas de lazer e área de preservação permanente (APP), é necessária a identificação da matrícula da área que descreva a faixa de servidão existente – é importante que a equipe de manutenção tenha informação para que possa respeitar os limites da faixa de servidão durante a execução dos serviços.

Após o início dos processos de gestão e manutenção, novos registros de dados precisarão ser feitos e adicionados ao modelo existente, como:

- Histórico de manutenção contendo descrição de cada processo com identificação do problema e da solução aplicada, juntamente com o registro fotográfico do serviço – em casos futuros de manutenção com problemas semelhantes, a equipe de manutenção responsável poderá utilizar o conhecimento adquirido nas manutenções anteriores para melhorar a eficiência na execução e, posteriormente, retroalimentar o histórico de manutenção com novas informações adquiridas;
- Registros de inspeções com descrição da avaliação das instalações – esses processos possibilitarão a antecipação de problemas, ajudando no planejamento do cronograma de manutenção preventiva, reduzindo os casos de manutenção corretiva, usualmente mais custosos;
- Atualização das redes em caso de alterações de dimensionados, materiais e qualquer outra substituição que venha a surgir durante as manutenções – revisões de informações como essas irão garantir que os modelos estejam sempre atualizados em relação às redes existentes;

O registro completo de todos esses dados permitirá que o gestor planeje os processos de manutenção das redes com mais precisão, a partir da difusão do conhecimento melhorando assim o processo de decisão.

Já para a base SIG, que será acessada por diversos gestores, a quantidade de informações pode ser reduzida, tendo como informação mínima disponível para visualização de qualquer gestor participante:

- Dados vetoriais, com a representação das redes no exato posicionamento georreferenciado – isso garantirá a todos os gestores o conhecimento sobre as redes existentes em cada local, podendo se programar em seus processos de manutenção evitando conflitos com outras redes. Nos casos em que a execução dos serviços for terceirizada, esses gestores também poderão negociar melhores valores de contratos, pois essas informações ajudariam os empreiteiros a diminuir os riscos de danos às tubulações existentes, que se tornam custos de reparo;
- Tipo de rede, com especificação de uso – essa informação, juntamente com os dados vetoriais, permite aos gestores saberem quais são as redes presentes no local, se estão enterradas ou superficiais, se apresentam algum tipo de risco à segurança, como redes de gás, e se existem objetos visíveis para as redes enterradas que permitem identifica-las no local, como poços de visita e bocas de lobo para redes de drenagem.

Essas informações garantem o mínimo de dados necessários para que um gestor possa identificar as possíveis interferências que podem ser encontradas no local previsto para um procedimento de manutenção. Isso possibilita uma tomada de decisão mais assertiva antes da mobilização da equipe para o local, sendo possível, se necessário, já entrar em contato com outro gestor antes da mobilização da equipe para pedir auxílio sobre uma possível interferência durante o serviço de manutenção.

7.2.4 Cadastramento das redes nas bases

Nesse formato de trabalho seria necessário cadastrar os arquivos das redes em duas bases distintas, uma base BIM, específica de cada gestor, e outra base SIG, servindo como o local de integração das redes dos diferentes atores envolvidos na gestão da infraestrutura urbana da cidade.

A vantagem de ter duas bases distintas é a possibilidade de cada gestor trabalhar com a base BIM que melhor se enquadrar nas suas necessidades, sem precisar ocorrer uma padronização de ferramentas computacionais entre esses gestores. Isso é possível, pois nesta etapa não ocorre a compatibilização entre os arquivos de redes de diferentes administrações.

A base SIG, que seria comum a todos os atores envolvidos, exigiria uma padronização de arquivo para que fosse possível a exportação de dados das diversas bases BIM para esse

local de centralização de dados. Essa etapa é a mais complexa do processo, pois depende da colaboração de diferentes gestores que trabalham com diferentes formatos de administrações.

7.3 Protocolo de modelagem para redes existentes

Existem nas áreas urbanas redes de infraestrutura não cadastradas, cadastradas de formas incompletas ou mesmo totalmente cadastradas, mas com difícil acesso às informações, sendo comum apenas o registros físico de informações, como projeto impressos. Algumas vezes, as informações sobre as redes existentes estão concentradas apenas na memória das pessoas que trabalham na operação dessas redes.

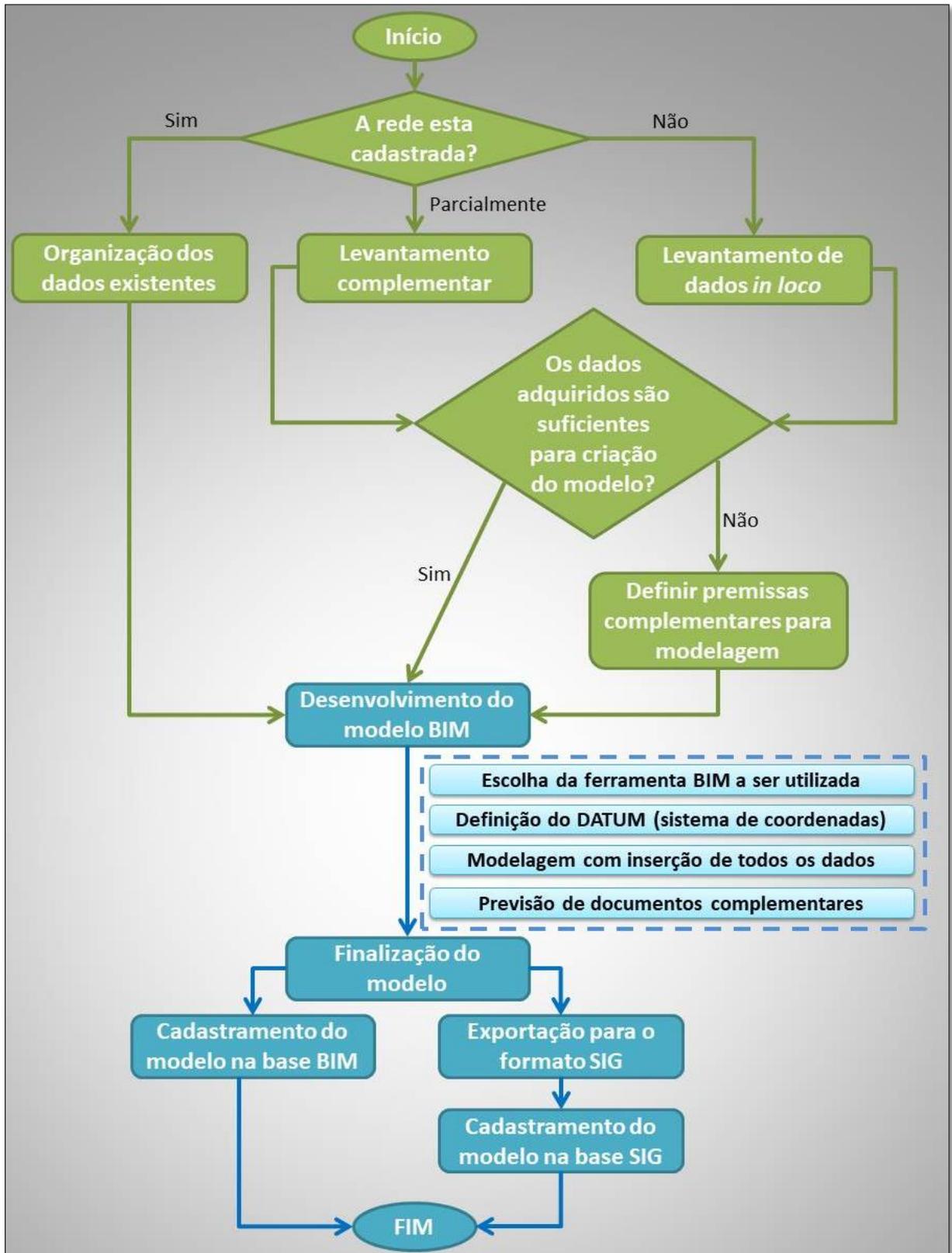
Um gestor que pretenda organizar os dados referentes às redes de infraestrutura existentes que estão sob sua responsabilidade, através da modelagem BIM, para melhorar seus processos de gestão e manutenção desses ativos, deve ter uma estratégia para realização do levantamento de dados dessas redes. O formato do levantamento a ser feito irá depender do cenário referente às informações existentes.

O levantamento de dados permitirá a criação do modelo BIM que servirá como base de dados para facilitar as tomadas de decisões durante os processos de gestão e manutenção das redes.

Através do modelo criado será possível compartilhar as informações da respectiva rede com outros gestores através de uma base SIG cooperativa, no mesmo formato especificado para as redes novas.

Este trabalho apresenta um protocolo para situações como essa, que pode ser adaptado dependendo das características individuais de cada caso. As etapas desse protocolo estão descritas nas seções seguintes e são resumidas na Figura 20 através de um fluxograma identificando todas as etapas do processo. Nesse fluxograma as etapas identificadas na cor verde são exclusivas dos processos de modelagem para redes existentes, enquanto que as etapas destacadas em azul são idênticas aos processos previstos no protocolo de modelagem para redes novas.

Figura 20 – Fluxograma para cadastramento de redes de infraestrutura existentes nas bases BIM e SIG.



Fonte: O Autor

7.3.1 Identificação do cenário atual

Antes de iniciar o desenvolvimento do modelo é necessário entender qual o cenário atual dos dados existentes sobre a rede. Esse cenário será o ponto de partida para definição dos próximos passos, que podem variar desde a necessidade de um levantamento *in loco* para identificação e registro das redes, até a simples transferência de informações que estão em papel ou em outras fontes de dados para o modelo BIM a ser desenvolvido.

Nos casos em que for necessária a realização de levantamentos *in loco*, esses deverão ser realizados por uma equipe de topografia que irá seguir o sistema de referência geográfico previamente definido. O nível de detalhamento desse levantamento deve ser definido pelo gestor responsável durante o processo de contratação do serviço de topografia. O ideal é que o levantamento seja realizado de forma mais completa possível, garantindo a precisão do modelo que será criado.

Redes superficiais e redes enterradas que possuem locais de acesso para manutenção, como os poços de visita para as redes de drenagem e esgoto, são passíveis de serem levantadas com equipamentos tradicionais de topografia, como o teodolito e a estação total. Redes superficiais também podem ser catalogadas através do levantamento aerofotogramétrico, realizado por drone, mas nesses casos podem existir imprecisões caso não sejam realizados pontos de controle no terreno e em casos em que as redes superficiais fiquem encobertas por outros objetos, como árvores próximas.

Já para redes subterrâneas sem pontos de acesso, o levantamento é um pouco mais complexo. É possível realizar o levantamento com equipamentos tradicionais de topografia desde que realizadas perfurações no solo para sondagem das redes em pontos estratégicos. Para isso, seria necessário ter alguma informação prévia sobre o posicionamento dessas redes. Também existe a possibilidade de realizar o levantamento através do *Ground Penetrating Radar* (GPR), que realiza um escaneamento do solo identificando todas as redes existentes. Esse último apresentaria um resultado mais completo e preciso, porém seria necessário analisar sua viabilidade financeira para execução em grandes áreas.

Nos casos em que houver informações que não forem possíveis de serem identificadas deverá ocorrer a análise pelo gestor de como prosseguir. Caso sejam informações indispensáveis para modelagem BIM, como a geometria e dimensionamento das redes, será necessária a adoção de premissas complementares, que podem seguir

padrões especificados em normas técnicas ou diretrizes técnicas dos próprios órgãos, como realizado no estudo de caso desta pesquisa. Precisarão estar contido no modelo que essas informações são temporárias e deverão passar por processos de atualização à medida que forem sendo confirmadas através de investigações em campo. Nos casos em que forem informações não necessárias para modelagem, o gestor responsável poderá decidir por deixar essas informações momentaneamente em aberto, complementando quando possível.

Também podem ocorrer casos de dados que nunca serão possíveis de serem preenchidos, por exemplo, a data de instalação de uma rede que não possuir nenhum registro. Nessas situações, esses dados só serão preenchidos quando houver a troca da rede existente. Essas redes existentes sem registros deverão passar por uma avaliação de ativos, para que seja determinado seu estado atual criando um planejamento de manutenção preventiva, ou mesmo identificando a necessidade de substituição.

7.3.2 Desenvolvimento do modelo BIM

A criação do modelo BIM deve seguir os mesmos princípios já previstos para modelos de redes novas, com a determinação da ferramenta computacional a ser utilizada, definição do DATUM e inserção de todos os dados e documentos complementares. Pode ocorrer que não seja possível realizar o levantamento de todos os dados das redes existentes, principalmente para redes enterradas, por inviabilidade financeira, dificuldades técnicas e histórico de informações. Nesses casos existem as informações mínimas que precisam ser definidas para que seja possível o desenvolvimento do modelo, podendo variar para cada tipo de rede, mas podendo ser resumido em:

- Especificação do uso da rede;
- Localização georreferenciada;
- Dimensões;
- Material.

Os outros dados necessários para possibilitar uma maior assertividade nos processos de gestão e operação através do modelo BIM, mas que não forem possíveis de catalogar, ficarão pendentes e deverão ser complementados em momentos posteriores com as informações adquiridas a medida que ocorrerem as manutenções e substituições de peças e materiais, sendo:

- Marca e fabricante dos materiais;

- Data da instalação e vida útil;
- Anexos e/ou hiperlinks conectando os objetos do modelo com manuais de instalação e manutenção;
- Informações sobre o solo local em casos de redes enterradas;
- Nos casos de redes localizadas em faixas de servidão, identificação da matrícula da área com descrição da faixa.

O constante processo de atualização de dados deve buscar sempre a criação do modelo mais completo possível, visando a progressão do modelo para um LoD 500, correspondendo as informações verificadas *in loco*.

7.3.3 Cadastramento das redes nas bases BIM e SIG

As etapas de cadastramento dos modelos nas bases BIM e SIG não se diferenciam entre redes novas e redes existentes, sendo essas bases comuns a todas as redes. Um gestor que pretende adotar processos BIM para gestão das redes de infraestrutura urbana durante toda sua VUP, dificilmente não terá que realizar o cadastramento de redes existentes. Isso ocorreria apenas se não existisse nenhuma rede de infraestrutura urbana, o que se torna improvável para cidades já consolidadas, ou se todas as redes existentes já estiverem cadastradas em bases BIM, o que decorreria de uma adoção anterior de processos BIM pela gestão dos órgãos responsáveis.

O que deve ocorrer para as redes existentes, que não deve acontecer para as redes novas, é uma diferenciação identificando as redes que não possuem informações concretas, realizando a atualização desses dados à medida que os mesmos forem sendo verificados e confirmados.

As duas bases, BIM específica de cada gestor e SIG para integração das redes de diferentes gestores, serviriam como um acervo técnico de dados que replicariam todas as informações referentes às redes de infraestrutura urbana das cidades. Cada gestor deve ser responsável pelo cadastramento e constante atualização das redes sob sua administração.

Esse cadastramento nas bases é o que garantirá a integração dos dados permitindo tomadas de decisões mais ágeis e assertivas pelos gestores responsáveis.

8 CONCLUSÃO

Apesar de ainda não ser uma realidade para todas as construções, o uso dos processos BIM já está altamente difundido no meio acadêmico e corporativo, com pesquisas e aplicações em todo o ciclo de vida das edificações. Já para as obras de infraestrutura urbana isso ainda não ocorre.

O BIM foi desenvolvido pensando no ciclo de vida das edificações, o que dificulta a sua aplicação direta na infraestrutura, pois existentes diferenças expressivas de escala e gestão. As infraestruturas urbanas constituem toda a área urbana das cidades, que podem ter milhares de quilômetros quadrados, e estão em constante ampliação, enquanto que as áreas de edificações são limitadas pelo lote em que estão implantadas. Além disso, as edificações possuem um proprietário responsável por todas as tomadas de decisões, enquanto que as gestões das infraestruturas urbanas estão usualmente divididas em diversas administrações, que dividem o mesmo espaço físico, mas sendo cada uma responsável pelos seus processos decisórios. Essas diferenças criaram a necessidade do conceito CIM, que muitas vezes é posto de forma análoga ao BIM, estando o CIM para cidades como o BIM esta para as edificações. Apesar dessa analogia facilitar a compreensão da definição de CIM para quem já conhece o conceito BIM, ela por si só não é suficiente.

Em outros momentos o conceito CIM foi descrito como a integração das plataformas BIM e SIG, se apropriando de suas funcionalidades para criação de uma nova plataforma. Porém, considerando o atual estado de desenvolvimento tecnológico, a simples integração BIM-SIG não constitui uma plataforma CIM, necessitando de uma maior automatização na coleta e integração de dados. Entretanto, para responder o objetivo principal desta pesquisa, foi evidenciado que a integração de BIM-SIG para a documentação das redes de infraestrutura urbana é viável. Tal integração, levando em consideração os protocolos descritos, poderia ser utilizada para auxílio na gestão e manutenção dessas redes, o que pode servir como direcionamento para a concepção da plataforma CIM.

A integração BIM-SIG cria etapas separadas de análises dentro dos processos de gestão e manutenção da infraestrutura urbana. A base BIM, específica de cada gestor, operaria de forma modular, permitindo a criação de diversos módulos (arquivos) para detalhamento de informações, tendo um núcleo BIM para compatibilização de todos esses

módulos, conforme já ocorre em processos BIM de projetos de edificações em trabalhos cooperativos entre diferentes projetistas.

O núcleo SIG, que compatibilizaria todos os núcleos BIM das diferentes redes, com a simplificação dos dados, serviria apenas para visualização, compreensão e identificação das redes existentes por todos os atores participantes. A simplificação dos dados ocorre devido à impossibilidade de importar todas as informações dos núcleos primários, ocasionada pela diferença de plataformas. Essa simplificação não afeta o planejamento operacional, pois os dados mínimos necessários para compreensão e análise das redes ainda seriam compartilhados.

Por fim, essa demonstração responde ao objetivo secundário dessa pesquisa, evidenciando as potencialidades da plataforma BIM como uma ferramenta plenamente aplicável nas administrações das infraestruturas urbanas para atender as demandas de gestão de dados para planejamento de operação e manutenção das redes de infraestrutura. As análises produzidas nesta pesquisa nos permite afirmar que o uso da plataforma BIM para gestão das redes de infraestrutura em conjunto com a plataforma SIG para compatibilização das redes existentes, tem potencial atender as necessidades individuais das diferentes partes envolvidas nos processos de gestão e manutenção da infraestrutura pública, dando sustentação para melhores tomadas de decisões, melhorando a eficiência dos processos e reduzindo custos.

Esse processo poderia ser ainda mais preciso com a utilização de uma plataforma que reunisse uma base de dados georreferenciada que contemplasse de uma só vez todas as informações existentes sobre as redes de infraestrutura, criando um complexo banco de dados, sendo aberta e acessível, porém possibilitando restrições por base de uma hierarquia de acesso às informações, em que cada gestor seria o responsável pelo acréscimo e atualização dos dados de suas redes. Dessa forma, seria gerado um modelo completo e atualizado da cidade ideal para gestão e manutenção de infraestrutura urbana. Essa base também poderia trabalhar em módulos, permitindo que fossem suportados grandes volumes de dados, mas esses módulos precisariam ter a possibilidade de ser acessados diretamente pela plataforma em nuvem, sem a necessidade de alternância de arquivos, melhorando a acessibilidade aos dados e diminuindo etapas de trabalho. Esse formato de armazenamento e gestão de dados pode ser definido como CIM.

9 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.; ANDRADE, M. **A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015 Recife.

AMEEN, R. F. M.; MOURSHED, M.; LI, H. **A critical review of environmental assessment tools for sustainable urban design**. Environmental Impact Assessment Review, v. 55, p. 110–125, nov. 2015.

AMORIM, A. **Estabelecendo requisitos para a modelagem de informação da cidade (CIM)**. Porto Alegre - RS. Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, p. 3. 1986

BEVILACQUA, N. **Materiais de tubulações utilizadas em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários: estudo de caso da área norte de São Paulo**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BOTELHO, L. L. R.; DE ALMEIDA CUNHA, C. C.; MACEDO, M.. **O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais**. Gestão e sociedade, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Diário Oficial da União, 23 agosto 2019, Nº163. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020. Diário Oficial da União, 03 abril 2020, Nº65. Seção 1, p. 5.

CHEN, Weiwei et al. **BIM-based framework for automatic scheduling of facility maintenance work orders**. Automation in construction, v. 91, p. 15-30, 2018.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 025: Projeto de redes coletoras de esgotos**. São Paulo, p. 6. 2020

DANTAS, H. S.; SOUSA, J. M. M. S.; MELO, H. C. **The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. p. 012074.

FINCH, E.; JONES, K.; SHARP, M. **A new performance-based process model for built asset maintenance**. Facilities, 2007.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T.. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GOUDA, A., ABDALLAH, M.R., MARZOUK, M. **An integrated framework for managing building facilities**. Journal of Engineering and Applied Science, 2020, 67(4), pp. 809-828

HU, M.; LIU, Y. **E-maintenance platform design for public infrastructure maintenance based on IFC ontology and Semantic Web services**. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, v. 32, n. 6, p. e5204, 2020.

IBGE. **SIRGAS – Centro de Análise – IBGE: O que é**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16257-centro-de-analise-ibge.html>> Acesso em: 13/02/2022

LAFIOUNE, N.; ST-JACQUES, M. **Towards the creation of a searchable 3D smart city model**. *Innovation & Management Review*, 2020.

LI, J. L.; CHEN, L. M.; XU, H. **Intelligent Construction, Operation, and Maintenance of a Large Wastewater-Treatment Plant Based on BIM**. *Advances in Civil Engineering*, v. 2021, 2021.

LIEBERMAN, J.; ROENSDORF, C. **Modular approach to 3D representation of underground infrastructure in the model for underground data definition and integration (MUDDI)**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2020.

LIU, J.; ZENG, L.; BIAN, H. **Progress on the exploitation of urban underground space (UUS) in China**. In: *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2019. p. 02011.

LIU, X. et al. **A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 6, n. 2, p. 53, 2017.

MARZOUK, M.; OTHMAN, A. **Planning Utility Infrastructure Requirements for Smart Cities Using the Integration between BIM and GIS**. *Sustainable Cities and Society*, p. 102120, 2020.

MENG, Q. et al. **A review of integrated applications of BIM and related technologies in whole building life cycle**. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2.^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. ISBN 978-85-352-4850-0.

MOTAWA, Ibrahim; ALMARSHAD, Abdulkareem. **A knowledge-based BIM system for building maintenance**. *Automation in construction*, v. 29, p. 173-182, 2013.

OLAZABAL, M. et al. **Sustainable spatial management: an integrated approach**. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*. Thomas Telford Ltd, 2010. p. 33-41.

ONUNGWA, I.; OLUGU-UDUMA, N.; SHELDEN, D. R. **Cloud BIM Technology as a Means of Collaboration and Project Integration in Smart Cities**. *SAGE Open*, v. 11, n. 3, p. 21582440211033250, 2021.

PAGE, M. J. et al. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews**. Bmj, v. 372, 2021.

PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. CP. **The building information modelling trajectory in facilities management: A review**. Automation in construction, v. 75, p. 45-55, 2017.

REITZ, T.; SCHUBIGER-BANZ, S. **The Esri 3D city information model**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2014. p. 012172.

SAAE, Comissão de Diretrizes. **Diretriz de água e esgoto para loteamento residencial**. São Carlos, p. 3. 26 de outubro de 2020.

SACKS, R. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers**. John Wiley & Sons, 2018.

SCHIEFELBEIN, J. et al. **Development of a city information model to support data management and analysis of building energy systems within complex city districts**. In: Proceedings of International Conference CISBAT 2015 Future Buildings and Districts Sustainability from Nano to Urban Scale. LESO-PB, EPFL, 2015. p. 949-954.

SECRETARIA GERAL DE GESTÃO DO ESPAÇO FÍSICO (SeGEF). **01_2020-Ufscar_SAOCARLOS.dwg**. São Carlos – SP, 2020. Mapa do campus da UFSCar. AutoCAD 2020.

SOFIA, H.; ANAS, E.; FAÏZ, O. **Mobile mapping, machine learning and digital twin for road infrastructure monitoring and maintenance: Case study of mohammed VI bridge in Morocco**. In: 2020 IEEE International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo). IEEE, 2020. p. 1-6.

SOHAIL, M.; CAVILL, S.; COTTON, A. **Sustainable operation and maintenance of urban infrastructure: Myth or reality?**. Journal of urban planning and development, v. 131, n. 1, p. 39-49, 2005.

SONG, Y. et al. **Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: a review from a spatio-temporal statistical perspective**. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 6, n. 12, p. 397, 2017.

SOUZA, L.; BUENO, C. **Análise bibliométrica de produções científicas de City Information Modelling**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 7, n.53, 2019.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. **Revisão integrativa: o que é e como fazer**. Einstein (São Paulo), v. 8, p. 102-106, 2010.

SUCCAR, Bilal. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation in construction, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

STOJANOVSKI, T. **City information modeling (CIM) and urbanism: Blocks, connections, territories, people and situations**. In: Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design. 2013. p. 1-8.

SYCHEVA, E.; BUDAGOV, A.; NOVIKOV, A. **Urban infrastructure development in a global knowledge-based economy**. In: SHS Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. p. 03013.

TRISYANTI, S. W. et al. **Low cost web-application for management of 3D digital building and complex based on BIM and GIS**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 2019.

UFSCAR, 2021. Campus São Carlos. Disponível em: <<https://www2.ufscar.br/a-ufscar/campus-sao-carlos>>. Acesso em: 19 de jun. de 2021.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Resolution adopted by the General Assembly. 2015b. Disponível em: <http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E>. Acesso em: 02 maio 2020

VILVENTHAN, A.; RAZIN, S.; RAJADURAI, R. **4D BIM models for smart utility relocation management in urban infrastructure projects**. Facilities Vol. 39 No. 1/2, 2021, pp. 50-63.

XU, Z. et al. **City Information Modeling: State of the Art**. Applied Sciences, v. 11, n. 19, p. 9333, 2021.

XU, Z.; COORS, V. **Combining system dynamics model, GIS and 3D visualization in sustainability assessment of urban residential development**. Building and Environment, n 47, 2011

ZHAO, L.; LIU, Z.; MBACHU, J. **An Integrated BIM–GIS Method for Planning of Water Distribution System**. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 8, n. 8, p. 331, 2019.