CAROLINA MIDORI OQUENDO YOSINO

**Modelagem baseada no conceito *City Information Modeling* para estudo do sistema
logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos**

São Paulo

2020

CAROLINA MIDORI OQUENDO YOSINO

**Modelagem baseada no conceito *City Information Modeling* para estudo do sistema
logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Sergio Leal Ferreira

São Paulo

2020

CAROLINA MIDORI OQUENDO YOSINO

**Modelagem baseada no conceito *City Information Modeling* para estudo do sistema
logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Sergio Leal Ferreira

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo na publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Yosino, Carolina Midori Oquendo

Modelagem baseada no conceito City Information Modeling para estudo do sistema logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos / C. M. O. Yosino -- versão corr. -- São Paulo, 2020.
130 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Tecnologia da informação 2.Resíduos Urbanos 3.Interoperabilidade 4.Geometria e modelagem computacional 5.Planejamento territorial urbano
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Nome: OQUENDO YOSINO, Carolina Midori

Título: Modelagem baseada no conceito *City Information Modeling* para estudo do sistema logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr (a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr (a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr (a). _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

YOSINO, C. M. O. **Modelagem baseada no conceito City Information Modeling para estudo do sistema logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos.** São Paulo. 2020. 130 p. (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Ao meu principal incentivador que sempre me
motivou a continuar persistindo. Obrigada a
você, meu amigo, parceiro e marido, Matheus.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as bênçãos que tive em toda esta jornada. Obrigada Senhor por me abrir portas e redirecionar a minha capacidade para a geração do saber.

À Universidade de São Paulo e à Escola Politécnica, agradeço pela oportunidade de realizar esta pesquisa. Agradecimento em especial ao meu orientador, o Professor Doutor Sergio Leal, pela confiança depositada em mim, a tranquilidade e a constante motivação no desbravar do conhecimento.

Aos meus pais, Edson e Carmen, que foram precursores da instigação ao novo na minha vida, e ao meu irmão Diogo, pelo apoio incondicional nos últimos dois anos.

Aos amigos de longa data, que vem me dando apoio moral desde os primeiros dias de curso, Paloma, Bruno e Lucas. Aos amigos pesquisadores, André e Marcelo, que me ajudaram nos primeiros passos para a carreira acadêmica. E ao meu grande amigo e eterno veterano, Victor, obrigada não só pelo apoio como também por todas as consultorias que você me deu, mesmo estando tão longe.

Por fim, gostaria de mais uma vez agradecer ao meu marido, Matheus, pelas incontáveis revisões, suporte e paciência. Obrigada por me incentivar e estar ao meu lado em todos os momentos.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.

Arthur Schopenhauer

RESUMO

YOSINO, Carolina Midori Oquendo. **Modelagem baseada no conceito *City Information Modeling* para estudo do sistema logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos**. 2020. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Projetos de construção vertical alcançaram um novo patamar de gestão através do conceito BIM (*Building Information Modeling*). Analogamente, o conceito CIM (*City Information Modeling*) surge com a meta de integrar dados de subsistemas urbanos para aprimorar a gestão e o planejamento urbano. Ferramentas computacionais baseadas no conceito CIM têm sido desenvolvidas para dar suporte à análise do meio urbano e seus sistemas. Tais ferramentas demonstram como a tecnologia da modelagem da informação contribui na visualização e manipulação dos dados urbanos, de modo a criar uma gestão urbana integrada. Uma estrutura tecnológica CIM é baseada na integração de dados do meio urbano com dados das edificações individuais. Um caminho para obter a intersecção destes dois tipos de informações é através da interoperabilidade entre sistemas BIM e GIS (*Geographic Information System*). Assim, a presente pesquisa visa o estudo sobre o conceito CIM aplicado a ferramentas para o gerenciamento do sistema logística de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), através da integração de dados advindos de sistemas BIM e GIS. Considerando que futuramente a modelagem BIM será requisito obrigatório para a aprovação de projeto junto à órgãos reguladores, o objetivo centra-se em utilizar informações fornecidas por modelagens BIM para a composição de dados de um ambiente urbano. Através deste conjunto de dados BIM torna-se possível identificar o volume de produção de RSU e traçar um planejamento logístico em uma determinada região. Para tanto, foram criadas modelagens BIM contendo dados geométricos, georreferenciados e parametrizações referentes à produção de RSU. Já em ambiente GIS, foram utilizados dados topográficos, visualização de vias e calçamentos, e criadas volumetrias urbanas genéricas para representar edificações não parametrizadas em BIM. Nas volumetrias criadas em GIS, utilizou-se uma série de algoritmos em linguagem Python para definir uma média da produção de RSU na região. Por meio dos processos desenvolvidos nesta pesquisa, os dados BIM e GIS foram integrados através da interoperabilidade de dados do tipo .RVT e .GDB na plataforma

ArcGIS Pro. Desta forma, a modelagem CIM simulada neste trabalho permitiu a criação de um ambiente tridimensional para a visualização da produção de RSU por regiões. Também possibilitou a análise de rotas de coleta de resíduos para maximizar o uso de coletores e permitiu uma verificação preliminar de como um novo empreendimento afeta a região em que será alocado no quesito gestão de RSU.

Palavras-Chave: BIM. GIS. CIM. RSU.

ABSTRACT

YOSINO, Carolina Midori Oquendo. **Modeling based on the City Information Modeling concept for the study of the logistics system for the collection of urban waste.** 2020. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Vertical construction projects have reached a new level of management through the BIM (Building Information Modeling) concept. Similarly, the CIM (City Information Modeling) concept emerges with the goal of integrating data from urban subsystems to improve urban management and planning. Computational tools based on the CIM concept have been developed to support the analysis of the urban environment and its systems. Such tools demonstrate how information modeling technology contributes to visualization and handling of urban data, in order to create an integrated urban management. CIM technological structure is based on the integration of data from the urban environment with data from individual buildings. One way to obtain the intersection of these two types of information is through the interoperability between BIM and GIS (Geographic Information System) systems. Thus, this research aims to study the CIM concept applied to tools for the management of the logistics system for the collection of Urban Solid Waste (USW), through the integration of data from BIM and GIS systems. Considering that in the future BIM modeling will be a mandatory requirement for project approval with regulatory bodies, the objective is to use information provided by BIM modeling to compose data from an urban environment. Through this set of BIM data, it becomes possible to identify the volume of USW production and trace logistical planning in a given region. For that, BIM models were created containing geometric data, georeferenced and parameterizations related to the production of USW. In the GIS environment, topographic data, visualization of roads and sidewalks were used, and generic urban volumes were created to represent buildings that were not parameterized in BIM. In the volumetries created in GIS, a series of algorithms in Python language was used to define an average of the production of USW in the region. Through the processes developed in this research, the BIM and GIS data were integrated through the interoperability of data of the type .RVT and .GDB in the ArcGIS Pro platform. In this way, the simulated CIM modeling in this work allowed the creation of a three-dimensional environment for the visualization of USW

production by regions. It also enabled the analysis of waste collection routes to maximize the use of collectors and allowed a preliminary verification of how a new construction affects the region where it will be allocated in the area of USW management.

Keywords: BIM. GIS. CIM. USW.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Gráfico da evolução dos gastos municipais com RSU em relação às despesas correntes totais	24
Figura 4.1 - Fluxograma das etapas da metodologia Design Science Research	29
Figura 4.2 - Fluxograma de aplicação da metodologia DSR	31
Figura 5.1 - Índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil (%)	38
Figura 5.2 - Ciclo BIM.....	41
Figura 5.3 - Uso de informações em camadas, apresentado por ferramentas GIS.....	45
Figura 5.4 - Fluxograma de interoperabilidade BIM e GIS através de linguagens IFC e CityGML	54
Figura 7.1 - Fluxograma do projeto do artefato	58
Figura 7.2 - Fluxograma da Etapa de Modelagem BIM	62
Figura 7.3 - Comparação entre modelagens BIM: Volume de massa e sistemas construtivos	65
Figura 7.4 - Volumetria da edificação modelada na plataforma BIM – Revit 2018, identificando as áreas por pavimento.....	66
Figura 7.5 - Parametrização de dados na Ferramenta Project Parameter do Revit 2018	67
Figura 7.6 - Dados volumétricos, paramétricos e georreferenciados em plataforma BIM – Revit 2018	68
Figura 7.7 - Fluxograma da Etapa de Modelagem GIS	70
Figura 7.8 - Imagem capturada da plataforma Infraworks 360, da modelagem urbana desenvolvida a partir dos dados fornecidos pelo OSM	73
Figura 7.9 - Ferramenta Origens dos Dados, da plataforma Infraworks 360, para a importação de arquivos de diversos formatos e indicação do objeto BIM na modelagem	74
Figura 7.10 - Visualização de parâmetros geométricos da modelagem BIM importada no Infraworks 360.....	75
Figura 7.11 - Interface da plataforma CityEngine, da Esri	77
Figura 7.12 - Ferramenta <i>Get Map Data</i> , da plataforma CityEngine	78
Figura 7.13 - Dados inseridos na modelagem GIS do banco de dados OSM	79
Figura 7.14 - Inserção de dados topográficos no sistema ArcGIS Pro	80

Figura 7.15 - Junção de dados topográficos e volumetrias no ArcGIS Pro	81
Figura 7.16 - Algoritmo que determina o uso da edificação	83
Figura 7.17 - Algoritmo que determina quantidade de pavimentos da edificação	84
Figura 7.18 - Algoritmo que determina a quantidade média de habitantes por edificação	85
Figura 7.19 - Algoritmo que determina a taxa de produção de RSU de cada edificação	86
Figura 7.20 - Algoritmo que determina a produção de RSU de cada edificação	86
Figura 7.21 - Conjunto de dados paramétricos GIS na plataforma ArcGIS Pro	87
Figura 7.22 - Conexão de informação do formato IFC com informações no formato CityGML, através da ferramenta FME Workbench.....	89
Figura 7.23 - Conversão de dados de formato .ACCCDB (<i>database</i>) para .SHP, na ferramenta FME Workbench	91
Figura 7.24 - Importação da volumetria do modelo BIM na plataforma ArcGIS Pro	92
Figura 7.25 - Uso de formatos proprietários para a interoperabilidade entre BIM e GIS	93
Figura 7.26 - Visualização geral da integração de dados volumétricos BIM e GIS na plataforma ArcGIS Pro	94
Figura 7.27 - Fluxograma da Etapa de modelagem CIM.....	96
Figura 7.28 - Criação de coletores na modelagem CIM	97
Figura 7.29 - Destaque para a Feature Multipatch	98
Figura 7.30 - Algoritmo para exclusão de dados duplicados	99
Figura 7.31 - Volumetrias representadas por um ponto único georreferenciado	99
Figura 7.32 - Ferramenta para vincular dados de coletores com facilities.....	101
Figura 7.33 - Ferramenta para vincular os dados de demanda	102
Figura 7.34 - Análise Maximize Capacitated Coverage da plataforma ArcGIS Pro	104
Figura 7.35 - Algoritmo de reconhecimento máximo de demanda	106
Figura 7.36 – Visualização da análise de rotas na plataforma ArcGIS Pro	107
Figura 8.1 - Métodos para avaliação do artefato	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de dados da modelagem BIM.....	69
Tabela 2 - Comparativo entre plataformas GIS, Infraworks 360 e ArcGIS Pro	71
Tabela 3 - Resumo dos dados das modelagens GIS	87
Tabela 4 - Resumo da produção da RSU (Kg/dia) na área estudada.....	95
Tabela 5 - Vinculação de dados de Coletores com <i>Facilities</i>	102
Tabela 6 - Vinculação de dados de Modelagens BIM/GIS com Demanda	103
Tabela 7 - Vinculação de dados de Demanda com Stops	105
Tabela 8 - Resumo dos dados obtidos através da análise Create Routes	108
Tabela 9 - Plataformas BIM analisadas para a etapa de modelagem BIM	126
Tabela 10 - Resumo dados Maximize Capacitated Coverage	127
Tabela 11 - Redistribuição de demanda por coletor para uso da ferramenta Routes, do ArcGIS Pro	128
Tabela 12 – Exemplo de documentação de rotas: Rotas do coletor 02 (C02) definida pela ferramenta <i>Create Routes</i> , do ArcGIS Pro	129

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CIM	<i>City Information Modeling</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	International Organization For Standardization
km	Quilômetros
LOD	<i>Level of Development</i>
NBIMS	<i>National Building Information Modeling Standards</i>

ONU	Organização das Nações Unidas
OSM	<i>OpenStreetMap</i>
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	JUSTIFICATIVA.....	23
3	OBJETIVOS.....	27
4	METODOLOGIA.....	28
5	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	34
	5.1 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	34
	5.2 REVISÃO DA LITERATURA.....	35
	5.2.1 RSU	36
	5.2.2 BIM	40
	5.2.3 GIS	44
	5.2.4 CIM	46
	5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS.....	52
6	ETAPA ABDUTIVA.....	56
	6.1 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO	56
7	ETAPA DEDUTIVA.....	58
	7.1 PROJETO DO ARTEFATO.....	58
	7.2 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	61
	7.2.1 Etapa 01 – Modelagem BIM	61
	7.2.2 Etapa 02 – Modelagem GIS.....	69
	7.2.3 Etapa 03 – Integração de dados BIM e GIS	88
	7.2.4 Etapa 04 – Análise de dados em ambiente CIM.....	94
8	CONCLUSÕES.....	109
	8.1 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	109
	8.2 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS	112
	8.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	113
	REFERÊNCIAS.....	117
	Apêndice A – Lista de plataformas BIM analisadas para composição da modelagem BIM.....	126
	Apêndice B – Resumo de dados obtidos através da análise logística feita pela ferramenta Maximize Capacitated Coverage	127

Apêndice C – Dados obtidos através do uso do algoritmo de redistribuição de demanda	128
Apêndice D – Documentação de rotas da ferramenta <i>Create Routes</i>	129

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o conceito BIM (*Building Information Modeling*) tem influenciado a modificação na forma de gestão de projetos dentro da esfera de construções verticais, tanto na forma como são projetados e parametrizados os modelos como no controle da construção do empreendimento em si. Do mesmo modo, o conceito CIM (*City Information Modeling*) surge com um objetivo análogo ao BIM, porém na esfera do ambiente urbano, onde a proposta é unir dados de subsistemas urbanos para obter uma visualização global do funcionamento do meio urbano e acesso aos seus dados, melhorando assim a gestão sobre o planejamento das cidades.

Para tanto, ferramentas tecnológicas baseadas no conceito CIM são necessárias para dar suporte à uma gestão urbana integrada e completa. O CIM é um conceito que trata a geração de modelos de dados espaciais do ambiente urbano de forma global e interdisciplinar, através da aplicação e visualização de dados usados para planejar e gerenciar a cidade (THOMPSON et al., 2016). Em seu trabalho Lima (2016) destaca que, antes da evolução tecnológica, as informações para desenvolver um planejamento urbano eram obtidas através de análises socioeconômicas, sem nenhum tipo de tratamento de dados. Hoje, em contrapartida, a tecnologia da modelagem da informação permite o uso de dados digitais abertos em uma sobreposição de diversos tipos de parâmetros urbanos, que auxiliam a uma melhor tomada de decisão e visualização dos dados relacionados ao planejamento urbano. Plataformas online como o GeoSampa e a iniciativa *Open Data* OpenStreetMap são exemplos que fazem uso de dados abertos em sobreposição para a análise de parâmetros urbanos.

O ideal da modelagem CIM vem de encontro à necessidade de análise da imensa quantidade de dados sobre o meio urbano que são gerados diariamente, se apresentando como uma forma plausível para a gestão a visualização das informações pertinentes à cidade. Autores como Beirão (2012) e Xu et al. (2014) desenvolveram ferramentas computacionais baseadas no conceito CIM, que mostram a capacidade que este tipo de modelagem tem para a análise de dados tanto do traçado urbano como de seus subsistemas. Enquanto Beirão (2012) foca na concepção paramétrica de um

modelo urbano, a pesquisa de Xu et al. (2014) utiliza a simulação CIM para a criação de um sistema para auxiliar na prevenção à incêndios. Estas pesquisas têm demonstrado como a modelagem da informação pode contribuir para a visualização e manipulação dos dados urbanos, auxiliando na criação de uma gestão urbana integrada, informativa e disponível para todos os usuários do meio.

Alguns entraves técnicos são apresentados nestas pesquisas como dificultadores no alcance de simulações CIM, tais como a interoperabilidade entre sistemas, ou o suporte técnico a ela, e a falta de dados abertos, que dão base à parametrização dos modelos.

A pesquisa tem como hipótese que um sistema elaborado a partir do conceito CIM tem a capacidade de gerar dados para análise da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a partir da leitura individualizada de geração de resíduos por edificação, obtida através de dados fornecidos por ferramentas BIM.

Este estudo fez o uso da metodologia de pesquisa *Design Science Research* (DSR) para o desenvolvimento da pesquisa, que tem como princípio básico a concepção de um sistema inovador (ou o chamado artefato) para a modificação da situação existente (DRESCH; LACERDA, 2016).

O artefato desenvolvido nesta pesquisa é a metodologia desenvolvida para a integração das plataformas BIM e GIS, com o intuito de criar uma simulação CIM capaz de analisar as rotas de coleta de RSU. Através do desenvolvimento deste artefato buscou-se evidenciar como a tecnologia da informação é capaz de auxiliar no planejamento de subsistemas urbanos, como a coleta de RSU.

2 JUSTIFICATIVA

A gestão de RSU é, quase na totalidade das vezes, de responsabilidade direta da administração pública municipal e, caso exista negligência no atendimento deste serviço, o acúmulo de resíduos gerados e seu acondicionamento errado podem trazer diversos danos diretos à população atendida, tais como o assoreamento de rios, entupimento de bueiros, destruição de áreas verdes, além de proliferação de diversas doenças (JACOBI; BESEN, 2011). Em contrapartida, caso a gestão de RSU seja bem executada, com uma coleta de forma integral e organizada e com a disposição de resíduos correta em locais distantes, a população atendida tem também uma sensação de eficiência da gestão pública (LIMA; LIMA; SILVA, 2012).

Assim, a gestão de RSU mostra-se um serviço de suma importância para a população. A dificuldade encontrada pelas administrações municipais é que a gestão de RSU é um serviço que compõe um subsistema urbano dispendioso, podendo representar de 7 a 15% do orçamento em municípios de pequeno porte (CUNHA, 2001).

De acordo com uma pesquisa feita pelo SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2018) o Brasil gastou no ano de 2016 aproximadamente 17,7 bilhões de reais com manejo de resíduos sólidos urbanos, ou seja, despesas com colaboradores, veículos, manutenção, insumos e terceirizações. Outro dado interessante indicado pela pesquisa do SNIS (2018) é que, em cidades compostas por mais de 3 milhões de habitantes (se enquadram nesta categoria apenas os municípios de São Paulo e Rio de Janeiro), as despesas com manejo de RSU chegam a ser três vezes maior do que em cidades de pequeno porte (**Figura 2.1**).

Figura 2.1 - Gráfico da evolução dos gastos municipais com RSU em relação às despesas correntes totais

Fonte: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016, (SNIS, 2018).

Destes valores totais apresentados gastos com o manejo de RSU, quase metade do orçamento é destinado apenas ao serviço de coleta e transporte (CUNHA, 2001). Rodrigues, Filho e Pereira (2015) mostram dados de 2012 onde o gasto da cidade de São Paulo com coleta representou 37% do total de gastos com manejo de RSU. Tais dados fortalecem o fato de que despesas com resíduos sólidos urbanos, especificamente a área de coleta e transportes de resíduos, ainda tem um grande peso para os cofres públicos.

No relatório lançado pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012) é apresentado que apenas com uma melhoria na gestão dos RSU seria possível minimizar as despesas na área, de modo que os serviços não fiquem deficitários. Isso endossa o fato de que otimizar o processo de gestão auxilia numa economia significativa para os governos locais.

Por outro lado, tecnologias de modelagem da informação têm ganhado espaço, principalmente no mercado de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Ferramentas baseadas no conceito *Building Information Modeling* têm se mostrado de

grande relevância para a administração dos processos de construção e controle de obras verticais.

Da mesma forma, o desenvolvimento de tecnologias de modelagem da informação especificamente voltadas para o ambiente urbano são necessárias para minimizar os custos e assegurar uma qualidade de vida melhor para a população (AMORIM, 2016). Neste contexto, pesquisas tem se encaminhado para o estudo sobre o conceito *City Information Modeling* que, analogamente ao BIM, busca auxiliar no processo de gestão de subsistemas urbanos.

As possibilidades que a evolução tecnológica tem trazido para o setor de Engenharia Urbana são muito variadas possibilitando, por exemplo, o controle em tempo real de vários aspectos que são críticos no dia-a-dia da população, como o tráfego, a segurança, a poluição e também o manejo de resíduos sólidos urbanos (AMORIM, 2016). Os sistemas de modelagem da informação apresentam um incrível potencial para auxiliar na gestão urbana, beneficiando o acesso às informações, a produtividade, os serviços oferecidos, a tomada de decisão, as projeções das decisões tomadas e a melhoria na estrutura organizacional (BERTEI et al., 2014).

No Brasil, o governo está endossando a utilização do BIM para otimizar a gestão na área de AEC através de decretos (BRASIL, 2018, 2019) e da organização de um comitê para criar estratégias de implementação do BIM. As metas criadas pelo Comitê Estratégia BIM BR (BRASIL, 2018) serão instauradas de maneira escalonada, para dar tempo ao mercado se adaptar à inserção do BIM.

Esta iniciativa também pode trazer benefícios diretos à gestão e planejamento de cidades, uma vez que as governanças municipais podem, futuramente, fazer uso de dados BIM para mapear problemas e soluções dentro do ambiente urbano. Serra (2015) explana em seu trabalho que ferramentas BIM são uma excelente plataforma de suporte para mensurar o impacto de edificações perante a cidade e seu entorno, identificando as modificações em nível urbano que a edificação promove ao seu meio.

A utilização de tecnologias BIM para analisar a gestão urbana mostra-se como uma situação perfeitamente plausível. O presente trabalho explorou este potencial que ferramentas BIM têm de fornecer informações sobre uma edificação para parametrizar

um trecho urbano. Desta forma foi possível unir dados BIM com dados parametrizados em ambiente urbano, para assim analisar o funcionamento de um subsistema urbano específico, a coleta de RSU.

3 OBJETIVOS

O principal objetivo desta pesquisa é integrar dados advindos de tecnologias BIM e GIS para propor um método de simulação computacional baseada no conceito City Information Modeling, de modo que dados construtivos e urbanos sejam utilizados de forma conjunta para auxiliar na visualização de um problema urbano: o controle do sistema logístico de coleta de RSU. Para tanto, busca-se através desta pesquisa atingir os seguintes objetivos específicos que auxiliarão na estruturação do objetivo principal:

- i. Levantamento de plataformas BIM e GIS e aspectos que possam inviabilizar sua integração;
- ii. Desenvolvimento da interoperabilidade entre sistemas BIM e GIS para obtenção da conexão dos dados do meio construtivo com dados do meio urbano;
- iii. Mapeamento das variáveis construtivas e variáveis urbanas necessárias para a construção do artefato;
- iv. Criação de rotinas através de linguagem de programação para construção de parâmetros necessários para simulação CIM.

4 METODOLOGIA

O presente trabalho é baseado na metodologia de pesquisa *Design Science Research* (DSR). Trata-se de um processo metodológico de elaboração de artefatos para alcançar melhores resultados, ou seja, produzir sistemas inovadores que modifiquem as situações existentes (DRESCH; LACERDA, 2016).

A metodologia *Design Science Research* é representada basicamente por duas atividades principais: a construção e a avaliação. Sendo que a atividade da construção trata-se da concepção de um artefato para um propósito específico, enquanto a atividade da avaliação é o processo de determinar o desempenho do artefato criado (MARCH; SMITH, 1995).

A inovação tecnológica, representada como o artefato na metodologia DSR, é o cerne e o principal resultado obtido ao fim da pesquisa. De acordo com Rodrigues (2018), a DSR é o método que tem a capacidade de unir campos de conhecimento distintos em prol de objetivos comuns através da criação de artefatos.

Assim, a presente pesquisa faz uso da metodologia DSR para a construção do artefato proposto, que trata-se de um método de simulação computacional baseada no conceito CIM para a reprodução de um sistema logístico de coleta de RSU. A partir da construção do artefato, o mesmo será avaliado de acordo com as diretrizes evidenciadas na metodologia DSR.

A elaboração da pesquisa através da DSR segue um fluxo representado por quatro principais etapas metodológicas (**Figura 4.1**): 1. Identificação do problema; 2. Raciocínio abdutivo; 3. Raciocínio dedutivo; e 4. Conclusões finais.

Figura 4.1 - Fluxograma das etapas da metodologia Design Science Research

Fonte: Dresch e Lacerda, 2016.

Seguindo as etapas definidas por Dresch e Lacerda (2016) (**Figura 4.1**), foi elaborado um segundo fluxograma (**Figura 4.2**), identificando como foram aplicadas as mesmas etapas para a presente pesquisa.

Figura 4.2 - Fluxograma de aplicação da metodologia DSR

Fonte: Adaptado de Dresch e Lacerda (2016).

A fase inicial da metodologia DSR trata-se da Identificação do problema, ou seja, é o momento da pesquisa em que se deve mapear as dificuldades existentes na indústria estudada e compreender estes problemas com o suporte da literatura disponível (DRESCH; LACERDA, 2016).

Para a presente pesquisa foram levantadas as evidências teóricas sobre a aplicabilidade do conceito CIM como ferramenta de modelagem computacional que dê suporte para o planejamento urbano. A literatura sobre os temas BIM, GIS, interoperabilidade, CIM e resíduos sólidos urbanos formaram a base teórica para o aprofundamento do tema a identificação dos problemas. Assim, foram mapeadas três principais classes de problemas para a concepção do artefato proposto: plataforma única, interoperabilidade e volume de dados. O estudo teórico sobre o tema e a identificação dos problemas a serem estudados são explicitados no Capítulo 5 deste trabalho.

A segunda etapa da DSR diz respeito ao Raciocínio Abduativo da pesquisa, momento em que há a conscientização do problema existente e se propõe um artefato para preencher a lacuna de conhecimento apresentada pelo mercado (DRESCH; LACERDA, 2016).

Como artefato a ser desenvolvido foi proposto dentro desta pesquisa a criação de um método de desenvolvimento de uma simulação CIM, através da interoperabilidade BIM e GIS, que seja capaz de reproduzir um sistema logístico de coleta de RSU. No Capítulo 6 a Etapa Abduativa é desenvolvida para explicar a escolha do artefato e como será feita a concepção do mesmo.

A terceira fase da metodologia DSR proposta por Dresch e Lacerda (2016) trata-se da Etapa Dedutiva, que tem como objetivo a análise das características internas do artefato a ser concebido, identificando o meio em que ele irá operar e as soluções satisfatórias de sua operação.

Na Etapa Dedutiva, o desenvolvimento do artefato foi dividido em quatro principais etapas de concepção: 1. Modelagem BIM; 2. Modelagem GIS; 3. Integração de dados BIM e GIS; 4. Análise dos dados sobre coleta de RSU na simulação CIM. Cada uma destas etapas apresenta suas soluções satisfatórias para que o artefato funcione de acordo com o esperado. No Capítulo 7 deste trabalho cada etapa é explicitada, além de serem mapeadas as soluções satisfatórias.

Por fim, a Etapa de Conclusões tem como propósito ressaltar os resultados obtidos com o desenvolver do artefato, relatando o que foi desenvolvido em três principais aspectos: a avaliação do artefato propriamente dito, a explicitação das aprendizagens obtidas no percurso e os resultados e discussões finais.

Para esta pesquisa foi utilizada a avaliação do tipo Experimental (HEVNER; MARCH; PARK, 2004), já que o artefato a ser desenvolvido trata-se de uma simulação realizada com dados artificiais. No Capítulo 8 foram descritas as conclusões alcançadas com a elaboração deste trabalho, bem como a avaliação do artefato proposto e as aprendizagens obtidas.

5 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

5.1 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

A etapa da conscientização do problema tem como princípio identificar a problemática existente para a indústria em estudo e compreendê-la de forma geral e abrangente, através do entendimento teórico do assunto (DRESCH; LACERDA, 2016).

De acordo com Oyegoke (2011), encontrar um problema com potencial de pesquisa pode ser motivado por uma evidência anedótica, uma experiência prática ou uma evidência teórica.

Assim, foram analisadas pesquisas sobre a temática CIM para compreender como a questão tem sido desenvolvida no meio acadêmico. Percebe-se que o CIM é tratado como uma nova forma de auxílio à gestão do meio urbano, a partir de ferramentas baseadas na tecnologia da informação e no georreferenciamento, para obter dados mais precisos sobre o funcionamento da cidade. Autores como Thompson et al. (2016), Lima (2016), Amorim (2016) e Dantas et al. (2019) destacam a importância de investigar a fundo a temática CIM, uma vez que o conceito se apoia no uso de tecnologias que poderão auxiliar no planejamento urbano no futuro. Dantas et al. (2019) inclusive citam que estudos sobre metodologias para integrar tecnologias BIM e GIS com vistas a alcançar o conceito CIM podem contribuir para uma melhor avaliação e controle dos serviços públicos.

A partir do estudo teórico verificou-se que o CIM tem a capacidade de dar suporte para a análise do planejamento e gestão do meio urbano. Contudo, fica bem claro na literatura que a área ainda carece do desenvolvimento de ferramentas que deem suporte técnico para a aplicabilidade do conceito CIM.

Usualmente, diversos subsistemas urbanos, inclusive a logística de RSU, foco desta pesquisa, são geridos por sistemas baseados em tecnologia GIS, devido às análises a partir de dados georreferenciados (GONZALES; LEAL, 2016). Já na área de construções verticais (edificações), tecnologias BIM vêm sendo implementadas para unir, ainda na fase de projeto, informações referentes à geometria com a semântica dos objetos físicos

(GRZYBEK et al., 2014). No entanto, ainda pouco se discute sobre a integração destas duas esferas de conhecimento para a obtenção de uma modelagem CIM.

Esta pesquisa visa justamente integrar dados advindos de tecnologias BIM e GIS para obter um modelo CIM que auxilie na visualização de um problema urbano: o controle do sistema logístico de coleta de RSU.

Dentro do âmbito de limpeza urbana, dados globais de geração de RSU por macrorregiões são utilizados para inferir o volume de coleta na região e, a partir de então, criar rotas de coleta. Contudo, ainda não são levados em consideração os dados individualizados de cada edificação, para ter uma precisão maior da contribuição de cada modelo construtivo para o sistema global da coleta de RSU. A falta de precisão nos dados de produção de RSU acaba gerando uma situação de sub ou superdimensionamento da rede de coleta de RSU (LIMA; LIMA; SILVA, 2012).

A partir dos dados paramétricos sobre produção de RSU advindos da modelagem BIM, será possível integrá-los com o ambiente georreferenciado em GIS, para então simular como cada edificação contribui na produção de RSU e analisar possíveis rotas de coleta, que permitam maximizar a eficiência do uso de caminhões coletores.

5.2 REVISÃO DA LITERATURA

Após a definição do problema, se faz necessária uma compreensão mais profunda sobre o tema abordado, através do entendimento teórico pela revisão da literatura (OYEGOKE, 2011). Para este trabalho, a revisão da literatura foi feita a partir de três principais vertentes de pesquisa:

- i. Resíduos Sólidos Urbanos: Revisão da literatura sobre a conceitualização do tema e a gestão da coleta de RSU;
- ii. BIM e GIS: Compreensão sobre os conceitos e a interoperabilidade entre eles para obter uma solução CIM;

- iii. *City Information Modeling*: Revisão sistemática do tema CIM para analisar conceitualização, nomenclaturas e uso em conjunto com a tecnologia da informação.

Os resultados da revisão da literatura proposta são apresentados nos próximos subcapítulos.

5.2.1 RSU

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011) entende por Resíduos Sólidos:

“qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Já o termo Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que é uma vertente dos Resíduos Sólidos, diz respeito especificamente àqueles resíduos que são provenientes de rejeitos domiciliares e da limpeza urbana (BRASIL, 2011).

Em sua dissertação, Cunha (2001) aponta três principais fatores pelos quais a temática de resíduos sólidos é tão debatida em diversas áreas do conhecimento:

- i. Quantidade de lixo gerada;
- ii. Gastos financeiros relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos;
- iii. Impactos diretos ao meio ambiente e à população.

Este trabalho utilizou o subsistema urbano de Resíduos Sólidos Urbanos como campo de pesquisa para a aplicação de um método para a formação de uma simulação computacional baseada no conceito CIM, de modo a ser possível propor e observar como o uso da tecnologia da informação é capaz de auxiliar na gestão deste subsistema, tanto em relação ao controle da quantidade de lixo gerada quanto na análise da economia financeira que simulações CIM podem trazer ao ajudar na gestão da coleta de RSU.

Segundo Lima, Lima e Silva (2012), entende-se por gestão de resíduos sólidos a coleta e a disposição dos resíduos pelo órgão administrador em locais apropriados. Em geral, toda a cadeia de gestão dos resíduos sólidos é administrada por órgãos públicos (LIMA; LIMA; SILVA, 2012), já que no Brasil o serviço de limpeza urbana está a cargo dos governos municipais. No entanto, o município pode administrar também a limpeza pública local através do contrato com empresas terceirizadas, que passam a se responsabilizar pelos serviços de coleta, limpeza de logradouros, tratamento e destinação final (BRASIL, 2001).

Portanto, é importante para o município ter um controle claro sobre a abrangência e a qualidade dos serviços prestados, tanto para a fiscalização de contratos de serviços terceirizados, como para o acompanhamento da eficácia dos próprios serviços.

Para analisar mais a fundo a eficácia do sistema de gestão de RSU no Brasil é interessante observar os dados relativos à abrangência do atendimento do serviço de coleta de RSU. De acordo com o relatório publicado pela Abrelpe (2017), o índice de cobertura de serviços de coleta de RSU no Brasil foi de 91,24%, sendo que a região que possui o maior índice de coleta do país é a Sudeste, e a menor é a região Nordeste (**Figura 5.1**).

Figura 5.1 - Índice de cobertura de coleta de RSU no Brasil (%)

Fonte: Abrelpe, 2017.

A partir dos dados fornecidos, é possível notar que o serviço de coleta de resíduos no país está próximo de abranger toda a população, demonstrando a eficácia na universalização do serviço. Assim, para desenvolver o gerenciamento de RSU no Brasil se faz necessário incrementar a eficiência do sistema, através do investimento em novas estratégias de gestão. González e Leal (2016) relatam em seu trabalho que apenas com a implementação de novas estratégias - a curto, médio e longo prazo – é que será possível controlar e gerenciar o sistema de coleta de RSU.

A aplicação do conceito *City Information Modeling* mostra-se um caminho promissor para alcançar maior eficiência na gestão de resíduos sólidos urbanos. De acordo com Almeida e Andrade (2015), o CIM pode auxiliar como tecnologia a favor da infraestrutura urbana através da análise da coleta de resíduos sólidos urbanos, tendo a capacidade de usar dados advindos das edificações para medir suas contribuições individuais na geração de resíduos.

Tendo em vista o foco desta pesquisa na logística da coleta de RSU, se faz importante a elucidação do processo de dimensionamento e gestão da coleta de resíduos dentro do meio urbano.

Segundo o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (Brasil, 2001), a coleta de RSU diz respeito a todo o processo de recolhimento dos resíduos, onde a prioridade final é evitar problemas de saúde que a exposição do lixo pode gerar para a população. A operação de coleta de RSU engloba desde a partida do veículo da garagem, todo o percurso para a coleta dos resíduos, até o seu retorno final no ponto de partida (CUNHA, 2001). Ainda de acordo com Cunha (2001), o processo de coleta de RSU tem por objetivo “recolher, de forma organizada, segura e econômica, todos os resíduos sólidos gerados pela comunidade e depositá-los em locais de tratamento, em estações de transbordo ou encaminhá-los para a disposição final”.

O dimensionamento de roteiros de coleta de RSU é feito a partir de dados da produção média de cada gerador (domicílios, comércio ou estabelecimentos públicos) e a projeção populacional de cada área de coleta (SHS, 2014). De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2001), o método de dimensionamento de roteiros de coleta de RSU consiste em quatro principais passos:

- i. Divisão do espaço urbano em subáreas;
- ii. Levantamento e sistematização das características de cada roteiro a ser percorrido;
- iii. Análise das informações levantadas;
- iv. Dimensionamento dos roteiros, levando em consideração:
 - a. A quantidade de horas de trabalho;
 - b. Estabelecimento de volume de coleta por jornada;
 - c. Concentração de resíduos em cada subárea.

Através do método supramencionado, é factível traçar os itinerários e dimensionar a frota para a coleta, com uma previsão da produção de RSU na região traçada. Contudo, vale

lembrar que variações – para cima e para baixo - no volume de coleta são normais e são vistos no dimensionamento de itinerários como um desvio do padrão.

Como a variação no volume de resíduos não é prevista no dimensionamento de itinerários, o monitoramento da variação da produção de RSU é feita através da pesagem dos caminhões de coleta. Caso haja uma diferença grande na carga, é possível estudar o aumento ou diminuição na frota que atende determinada região (VILHENA et al., 2018).

Através da elaboração do artefato proposto nesta pesquisa, pretendeu-se fazer uso da modelagem da informação para que, na fase de planejamento, seja possível visualizar a quantidade de RSU produzida por cada unidade habitacional, de forma a que se obtenham desvios padrões cada vez menores para as regiões que utilizam CIM como forma de controle e gestão de RSU.

5.2.2 BIM

BIM é a sigla que representa o termo *Building Information Modeling*, ou Modelagem da Informação da Construção, de acordo com a tradução normatizada da ABNT (2011).

O NBIMS (*National Building Information Modeling Standards*, 2007), retrata o BIM como uma representação digital das propriedades físicas e funcionais de um modelo construtivo. Ou seja, o BIM tem a capacidade de prover uma base confiável de informações para a tomada de decisão dentro do ambiente construtivo, uma vez que é imprescindível para seu funcionamento que todas as partes interessadas participem da formação da base de dados do modelo, através da inserção, extração, atualização e modificação das informações existentes (NBIMS, 2007).

Já a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2016), caracteriza o BIM como um processo que viabiliza a modelagem, armazenamento, troca, consolidação e acesso fácil aos diversos grupos de informações que existem dentro do projeto de um empreendimento. Com uma abordagem BIM, é possível elaborar um conjunto único de informações, que tem o poder de dar suporte a todo o ciclo de vida de uma construção, desde a sua concepção até a demolição ou renovação (**Figura 5.2**).

- v. Deve ser durável, ou seja, permanecer íntegro ao longo de todas as fases da vida do empreendimento.

Contudo, é importante ressaltar que Eastman et al. (2014) também afirmam que ainda não existiam tecnologias disponíveis no mercado que tenham a capacidade de abranger todas as características supracitadas.

Mesmo assim, o conceito BIM tem se mostrado de grande relevância para a administração dos processos de construção e controle de obras de edificação e, através do uso de tecnologias, tem sido capaz de unir a modelagem computacional de elementos e sistemas construtivos com a parametrização dos objetos e relações (CRESPO; RUSCHEL, 2007). Como já apontado por Coelho e Novaes (2008), os sistemas baseados em BIM são considerados a evolução dos sistemas CAD, uma vez que têm a capacidade de gerenciar a informação de todo ciclo de vida do empreendimento utilizando, para tanto, um banco de informações integrado à um projeto em três dimensões.

Crespo e Ruschel (2007) ainda reiteraram que através de ferramentas baseadas no conceito BIM o planejamento de obras torna-se mais completo, minimizando os erros e gastos, tanto com materiais como com tempo, e diminui as interferências entre projetos.

Por tratarem-se de tecnologias novas e complexas, ainda existe uma resistência na adoção de ferramentas BIM por parte do mercado. Checcucci, Pereira e Amorim (2013) pontuaram em sua pesquisa algumas dificuldades para a adoção do BIM, como a mudança na rotina de trabalho, a necessidade de formar mão de obra especializada e a integração de projetos com a equipe de parceiros.

Atualmente, o conceito BIM apresenta-se como uma realidade prática em diversos países, inclusive no Brasil, apesar do mercado brasileiro inserir a modelagem computacional baseada em BIM de maneira mais lenta que em outros países (CAVALCANTI; SOUZA, 2015).

Dantas Filho, Barros Neto e Angelim (2017) inclusive ressaltam em sua pesquisa que o avanço acadêmico sobre a temática BIM no Brasil não é acompanhado pelo uso dessas

tecnologias por parte do mercado, já que ainda existe um baixo nível de conhecimento em BIM.

Em contrapartida, existem diversos países onde ferramentas BIM são usadas em larga escala, com estratégias de implementação fomentadas pelo governo. Como exemplo, pode-se citar o Reino Unido, que instituiu a obrigatoriedade de projetos serem entregues em plataformas BIM a partir de 2016, sendo mandatório o uso de BIM colaborativo, com informações tridimensionais de projetos e materiais (KASSEM; AMORIM, 2015). Esta ação do governo britânico fez com que as empresas do setor de AEC passassem a buscar estratégias e iniciativas para a implementação do BIM com mais incisividade.

Com o mesmo intuito, o governo brasileiro lançou em 2018 o Decreto no 9.377 para instituir a estratégia nacional de disseminação do BIM no Brasil, que tem como meta principal “promover um ambiente adequado ao investimento em *Building Information Modeling* e sua difusão no país” (BRASIL, 2018). Com tal iniciativa espera-se que mais empresas passem a adotar o BIM em todo o ciclo de vida de um empreendimento para que, desta forma, o BIM passe a ser realidade nos setores público e privado.

Com uma ampla adoção do conceito BIM, cada vez mais empreendimentos serão alimentados com informações diversas durante o período de projeto. Tais dados poderão ser usados e analisados na fase de utilização do empreendimento, incrementando o conhecimento sobre cada edificação contida na cidade. Entretanto, modelagens BIM ainda não são utilizadas para fornecer informações para o estudo do meio urbano e entender como a área construída tem a capacidade de impactar os subsistemas urbanos.

Assim, esta pesquisa faz uso de modelagens BIM para alimentar um sistema simulado do ambiente urbano e analisa a contribuição de cada edificação na questão de produção de Resíduos Sólidos Urbanos. Além disto, nesta pesquisa, o BIM serve como conceito base para compreender a evolução do conceito CIM e paradigma no quesito tecnologia, a fim de identificar principais necessidades para a criação de um ambiente simulado CIM.

5.2.3 GIS

Ao contrário do BIM, o GIS, acrônimo para o termo *Geographic Information System*, trata-se de um conceito antigo e consolidado no setor de AEC. De acordo com Zaidan (2017), os primeiros sistemas baseados em GIS foram desenvolvidos na década de 1960 no Canadá, a partir de um programa governamental que buscava desenvolver um inventário de recursos naturais. Mas é apenas a partir da década de 1980 que o GIS passa a ser amplamente difundido como ferramenta tecnológica para o auxílio do planejamento e modelagem do meio urbano (ZAIDAN, 2017), sendo beneficiado pelo acelerado avanço da informática.

Akinci et al. (2009) ressaltam inclusive que o conceito GIS tem sua evolução intrinsicamente conectada ao desenvolvimento da própria tecnologia computacional, uma vez que sistemas de informação geográfica se tornaram um componente essencial dentro da esfera de conhecimento da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC).

Atualmente, existem diversas plataformas GIS disponíveis no mercado que atendem as mais diversas necessidades de análise do meio urbano. A Esri, desenvolvedora de softwares especializados em sistemas de geoprocessamento, entende GIS como uma estrutura computacional capaz de coletar, gerenciar e analisar dados (ESRI, 2019c). Também de acordo com a Esri (2019c), sistemas GIS tem a capacidade de analisar a localização espacial e organizar camadas de informação em visualizações de mapas e cenas tridimensionais.

Seguindo a mesma linha, Assad e Sano (1998, apud ZAIDAN, 2017) entendem que para uma tecnologia ser considerada GIS, a mesma deve conter ao menos quatro principais componentes:

- i. Interface com o usuário;
- ii. Entrada e integração de dados;
- iii. Consulta, análise espacial e processamento de imagem;
- iv. Armazenamento e recuperação de dados (banco de dados geográficos).

Assim, um sistema GIS tem a capacidade de fazer com que informações obtidas de mapas digitais sejam combinadas com informações de atributos sobre os recursos dos mapas, propiciando uma grande quantidade de dados que podem ser utilizados para analisar e solucionar problemas urbanos complexos. Além disso, tornam possível o gerenciamento de recursos do ambiente urbano de forma eficiente e eficaz (HUXHOLD, FOWLER e PARR, 2004). Para tanto, plataformas GIS usualmente trabalham com informações em camadas, (**Figura 5.3**), sobrepondo atributos pertencentes ao ambiente às informações espaciais.

Figura 5.3 - Uso de informações em camadas, apresentado por ferramentas GIS

Fonte: Sánchez-Lozano et al. (2013).

Portanto, o uso do sistema GIS mostra-se uma solução interessante para o trabalho proposto, uma vez que tem a capacidade de integrar informações pertinentes ao meio com a visualização gráfica da geografia, através de um sistema de camadas de informações.

Contudo, é importante ressaltar que uma das principais dificuldades encontradas na adoção de um sistema GIS é a integração de informações (SCHEIDEGGER, CARNEIRO e ARAÚJO, 2013).

Diversos subsistemas da Engenharia Urbana fazem uso de sistemas GIS para seu controle e planejamento. No entanto, as modelagens destes subsistemas urbanos muitas vezes são criadas independentes uma das outras, não dando oportunidade ao estudo integrado das diversas áreas. De acordo com Scheidegger, Carneiro e Araújo (2013), a falta de integração de dados entre subsistemas urbanos causa “múltiplos, repetitivos e desconexos processos, impossibilitando que ações intersetoriais sejam planejadas em conjunto”.

Em seu trabalho publicado há mais de 30 anos, Parker (1988) comentou que uma das aplicações mais poderosas para o GIS no futuro seria a modelagem da simulação computacional. Através dela seria possível gerenciar espaços urbanos, recursos naturais, novas construções, uso de serviços públicos e tantas outras atividades do ambiente urbano apenas utilizando modelagens simuladas da cidade. Ainda de acordo com Parker (1988), “[...]os ganhos econômicos e políticos serão substanciais. Erros cometidos na simulação por computador são muito menos dolorosos e caros do que os erros cometidos no terreno”.

A integração das modelagens BIM e GIS representa esta capacidade da tecnologia atual de unir as informações dos dois ambientes (da edificação e do ambiente urbano) e utilizá-los para desenvolver um ambiente simulado, que possa antever as problemáticas urbanas através da análise de dados fornecidos pela modelagem.

5.2.4 CIM

Por se tratar de um tema relativamente novo, são diversos os autores que discutem sobre o conceito CIM nos últimos anos. Tanto em âmbito nacional como internacional, o CIM tem sido apontado como “um dos caminhos para uma cidade alcançar o status de Smart City” (AMORIM, 2016).

Neste contexto, Stojanovski (2013) aponta que *City Information Modeling*, ou simplesmente CIM, pode ser considerado a analogia do BIM na área do urbanismo, uma vez que trata-se de um sistema de elementos urbanos representados por símbolos em espaços bidimensionais e tridimensionais e que requerem o relacionamento entre si.

Já Dantas, Sousa e Melo (2019) vão além em sua visão sobre a temática, afirmando que o CIM não pode ser considerado apenas uma analogia ao BIM. O CIM é composto não apenas de informações sobre a infraestrutura urbana, como também cria conexões com informações pertinentes à administração e à atividade humana, que tem o poder de facilitar a visualização, análise e monitoramento do ambiente urbano, além de fornecer uma visão global de uma determinada região (DANTAS; SOUSA; MELO, 2019). Da mesma forma, Floros et al. (2017) retrata o CIM como um conceito que tem a capacidade de trazer o suporte necessário à compreensão e gerenciamento dos objetos do mundo real, através da simulação virtual, com maior eficiência.

É perceptível que, independente do autor, há um consenso de que o conceito CIM apresenta-se como um caminho interessante para a concepção de modelos tridimensionais de cidades parametrizadas.

Em sua pesquisa, Thompson et al. (2016) estudaram os primeiros autores que desenvolveram pesquisas sobre a temática CIM e, a partir de então, criaram uma definição de City Information Modeling que engloba opiniões de diversos autores sobre a temática:

“CIM é uma abordagem holística e interdisciplinar para a geração de modelos de dados espaciais nos quais a integração, aplicação e visualização de dados da cidade são usados para gerenciar e mediar a demanda por terras, propriedades e recursos ambientais; o objetivo do CIM é equilibrar as necessidades de várias partes interessadas, a fim de alcançar cidades sustentáveis e habitáveis, nas quais os cidadãos desempenham um papel importante na governança da cidade.”

O conceito explanado por Thompson et al. (2016) será utilizado na presente pesquisa para basear o desenvolvimento de uma simulação pautada em ambiente CIM.

No que diz respeito à terminologia, o CIM surgiu a partir da comparação ao já conhecido BIM (*Building Information Modeling*), onde a diferença entre os dois conceitos destaca-se principalmente pela função semântica (XU et al., 2013). Contudo, a literatura mostra que assim como a sigla CIM, existem outras nomenclaturas para definir a modelagem informativa na área de infraestrutura urbana. A seguir são apresentadas algumas outras definições encontradas na literatura para a área de modelagem de cidades:

- a. *Town Information Modeling* (TIM): é um processo de modelagem e sistema de coleta de dados patenteado pela empresa Torti Gallas, que une visualizações bidimensionais e tridimensionais com inúmeras bases de dados em uma única plataforma. A plataforma TIM faz uso de tecnologias BIM e a plataforma Navisworks, da Autodesk, para fornecer aos usuários a representação tridimensional contendo as alterações físicas propostas (BRANDERSKY; O'NEILL, 2014).
- b. *Unified Building Model* (UBM): Trata-se de um método que permite aos usuários combinar completamente características de BIM e GIS em um único modelo. A principal vantagem é que a UBM permite uma conversão bidirecional de conteúdos IFC para o BIM e CityGML para o GIS. A UBM difere de outros métodos unidirecionais que implicam em perda de informações, pois neste método há uma minimização dessas perdas durante a conversão dos arquivos (FOSU, 2015).
- c. *Civil Information Modeling* (CIM): apresenta e simula operações por meio de modelos 3D. A tecnologia CIM é utilizada principalmente para revisão de construtibilidade para projetos rodoviários. Vale ressaltar que esta tecnologia pode utilizar dados anteriores para realizar um backup nos novos dados do projeto, permitindo que os engenheiros tenham mais facilidade de atingir o alvo do projeto (LIAU e LIN, 2017).
- d. *Civil Integrated Management*: consiste na coleta, organização e acesso aos dados. A CIM se concentra em promover a aplicação bem-sucedida e eficaz do ciclo de vida de tecnologias modernas, como modelagem de informações, métodos avançados de topografia, mapeamento de subsuperfície de serviços públicos, orientação automatizada de máquinas e integração de dados de projetos (O'BRIEN, 2016).

É importante ressaltar que o *City Information Modeling* (CIM) acabou por tornar-se a nomenclatura mais difundida no meio acadêmico para a representação de modelagem

informativa da construção de meios urbanos e, por este motivo, esta pesquisa fará uso desta terminologia para representar o termo ‘modelagem informativa de cidades’.

Além do conceito propriamente dito, Tobin (2008) sugeriu uma divisão de gerações CIM, que varia de acordo com a evolução da utilização de ferramentas CIM e a abrangência do modelo:

- CIM 1.0: Substituição de análises urbanas em modelagem GIS e projetos urbanos em CAD por modelos 3D georreferenciados de cidade. Estágio focado na individualização do projeto;
- CIM 2.0: O projeto é expandido para diversos profissionais envolvidos, tornando a interoperabilidade e cooperação essenciais. Geração em que análises de informações sobrepostas são realizadas com o intuito de extrair indicadores do projeto;
- CIM 3.0: O uso do modelo é expandido para usuários do meio urbano, através de uma plataforma aberta e de visualização e interação em tempo real.

A modelagem CIM desenvolvida nesta pesquisa apresentará características pertinentes ao nível CIM 2.0 explanado por Tobin (2008), já que busca criar um modelo CIM em que informações urbanas e de edificações serão sobrepostas, com intuito de extrair indicadores sobre o subsistema urbano de coleta de RSU.

Para a concepção de um método de simulação computacional baseada no conceito CIM, que seja capaz de sobrepor informações, como o nível CIM 2.0 exige, se faz necessária a integração de informações de esferas de conhecimento diferentes, que já possuem seus sistemas de modelagem, análise, parametrização e semântica já pré-definidos.

No subcapítulo 5.2.4.1 a seguir, será retratado como o conceito CIM é utilizado em conjunto com tecnologias da informação e a integração BIM e GIS para a formação de uma simulaçãoCIM.

5.2.4.1 CIM e a tecnologia da informação

Cavalcanti e Souza (2015) relatam que a tecnologia atualmente utilizada para a gestão urbana não processa diversos subsistemas da engenharia de forma concomitante, para possibilitar a visualização do gerenciamento das cidades em todos seus aspectos e, por este motivo, as pesquisas no meio acadêmico têm se encaminhado para o estudo do CIM como conceito base para a criação de uma tecnologia capaz de dar suporte ao gerenciamento de cidades.

De acordo com Bertei et al. (2014), para que um sistema de infraestrutura no âmbito de cidades funcione é necessário incluir todas as possíveis obras de infraestrutura pública no escopo. Desde infraestrutura viária, coleta de resíduos, abastecimento de água e esgoto, eletricidade e gás, até atendimento de saúde, educação, segurança e recreação.

A idealização do conceito CIM vem de encontro à necessidade do sistema de infraestrutura urbana apresentada por Bertei et al. (2014). Segundo Floros et al. (2017), ferramentas computacionais baseadas em CIM tem como principais objetivos integrar informações descritivas e georreferenciadas para melhorar a eficiência e sustentabilidade do ambiente urbano. Xu et al. (2016) ainda complementam que o CIM, como base à ferramenta computacional, é apropriado para a eficiência global da gestão urbana, fazendo uso de tecnologias para o compartilhamento e integração de informações, tanto em escala horizontal (cidades) como em escala vertical (edificações) (XU et al., 2013).

Contudo, para que ferramentas baseadas em CIM sejam uma realidade, é necessário não apenas o acesso aos conjuntos de dados urbanos, como também o investimento de tempo e esforços para criar formas de armazenar, decodificar e manipular estes dados, de modo que as edificações tenham informações cruzadas com os elementos do seu entorno para tornar possível a reprodução do movimento natural da cidade. A partir da informatização das cidades será possível criar modelos urbanos mais próximos à realidade, auxiliando assim no gerenciamento fidedigno dos meios urbanos.

Certamente, o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas baseadas em CIM irá auxiliar em uma ascensão do planejamento urbano para um novo patamar de detalhamento, de maneira que seja possível o cruzamento de diversos conjuntos de dados urbanos, possibilitando o entendimento mais aprofundado sobre o funcionamento das cidades e de como modificar o meio urbano, causando impactos menores em sua dinâmica diária.

Já que, para se obter uma estrutura tecnológica CIM, é preciso o cruzamento de dados advindos do meio urbano com dados construtivos, um caminho a ser traçado para obter a união destes dois tipos de informação é através da interoperabilidade entre sistemas BIM e GIS.

De acordo com Kymmell (2008), interoperabilidade é a capacidade de diferentes formatos de arquivo serem integrados uns aos outros e de transferirem informações relevantes entre si, sem ocorrer perda de dados. Já Eastman et al. (2011) descreve interoperabilidade como a possibilidade de trocar dados entre aplicativos de forma a suavizar o fluxo de trabalho e facilitar a automação de transferência de dados.

Assim, para que seja possível criar um ambiente CIM baseado na integração BIM e GIS, a interoperabilidade mostra-se essencial no processo de união entre dados do meio urbano aos da edificação. Através da interoperabilidade em ambiente CIM, torna-se possível a junção da dados de uma edificação (criada em ambiente BIM) com os dados do meio urbano em que ele será inserido (modelo em sistema GIS), de forma que informações não sejam perdidas ou modificadas.

Kymmell (2008) ressalta que a melhor maneira para determinar a interoperabilidade é tentar vincular vários arquivos que contenham exemplos de diversas áreas do projeto e colocá-los em um único arquivo teste, a fim de observar todos os processos esperados.

Encontrar softwares que trabalhem em perfeita interoperabilidade é importante para o sucesso da simulação baseada no conceito CIM. Contudo, quando a interoperabilidade entre sistemas não opera de forma a atingir seu funcionamento ótimo, ocorre perda de informações importantes para a compreensão da modelagem computacional.

Portanto, é de extrema relevância para esta pesquisa encontrar plataformas BIM e GIS que possuam uma boa interoperabilidade entre si, para que assim seja factível criar uma ponte entre estes dois sistemas, permitindo a passagem de informações sem a perda nem a modificação de dados.

5.3 IDENTIFICAÇÃO DOS ARTEFATOS E CONFIGURAÇÃO DAS CLASSES DE PROBLEMAS

Nesta fase da metodologia, concentra-se em mostrar os artefatos e as classes de problemas existentes relacionados à pesquisa, sendo o momento para a compreensão e a definição de soluções que poderão ser satisfatórias para o sistema apresentado (DRESCH; LACERDA, 2016).

Lacerda et al. (2013) definem o termo “classe de problemas” como “a organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos avaliados, ou não, úteis para a ação nas organizações”.

No âmbito CIM, alguns problemas se apresentam como entraves recorrentes à criação de um ambiente de modelagem da cidade. A partir da revisão da literatura, foram encontradas três classes de problemas recorrentes dentro de pesquisas sobre tecnologias CIM:

- i. Utilização de diversas plataformas para criar um ambiente simulado CIM;
- ii. Interoperabilidade de dados;
- iii. Volume de dados.

De acordo com Lima (2016), os problemas relativos às plataformas tecnológicas devem ser ressaltados, uma vez que ainda existem poucos sistemas voltados à visão de modelagem urbana paramétrica, e, os poucos que existem, apresentam limitações importantes.

Um exemplo deste impedimento tecnológico é expressado por Santana (2014) que realizou uma “simulação tridimensional das paisagens volumétrica urbanas com foco na

aproximação entre as realidades da cidade construída, da cidade projetada – modelada por legislações e parâmetros urbanísticos – e a cidade percebida – criada a partir de mapas mentais de seu território por parte dos cidadãos”. Durante o processo de pesquisa, foi constatado pela autora que apenas uma plataforma não seria suficiente para realizar todas as modelagens, sendo necessário a utilização de três *softwares* distintos para unir os diferentes tipos de informação e alcançar o resultado esperado.

Da mesma forma, ao criar o CityMaker, plataforma baseada em conceito CIM, Beirão (2012) também teve que fazer uso de diferentes ferramentas computacionais (PostGIS, Rhinoceros e Grasshoper). O objetivo final da pesquisa de Beirão era obter, através desta integração, um método para formular, gerar e avaliar projetos urbanos.

A dificuldade apresentada por Santana (2014) e Beirão (2012) demonstra que a utilização de diversas plataformas para a criação de um ambiente baseado em CIM é uma classe de problema identificada dentro de pesquisas na área de *City Information Modeling*.

No que diz respeito à interoperabilidade de dados, as tecnologias atuais têm capacidade de atender a modelagem de informação em escala interna (meio construtivo) e escala externa (meio urbano). Contudo, ainda existe a carência na integração dessas informações através de plataformas que atendam ambas as escalas de forma concomitante. Xu et al. (2014) cita a junção da modelagem da informação nestas duas escalas como uma das principais dificuldades dentro da pesquisa em CIM, e dá como alternativa a esta classe de problema a interoperabilidade entre sistemas GIS e BIM através da integração das linguagens CityGML e IFC (**Figura 5.4**).

Figura 5.4 - Fluxograma de interoperabilidade BIM e GIS através de linguagens IFC e CityGML

Fonte: Xu et al. (2014)

Por fim, a última classe de problema está relacionada à quantidade de dados a serem cruzados e analisados. Cavalcanti e Souza (2015) citam que o volume de informações para a gestão das cidades tem ficado cada vez maior, gerando um alto grau de complexidade para a interação destes dados, principalmente ao usá-los no ambiente de modelagem tridimensional, como exigido pelo conceito CIM.

Além disto, a forma como os dados são disponibilizados e o seu formato influenciam diretamente na acessibilidade e usabilidade dos mesmos (THOMPSON et al., 2016). Ainda de acordo com Thompson et al. (2016), um dos grandes desafios dentro da formulação do conceito CIM é a grande gama de dados que se apresentam dentro do ambiente urbano que, se mal formatados, necessitam de uma reengenharia considerável para serem utilizados.

Após o mapeamento das principais classes de problemas encontradas através da literatura sobre a temática CIM, passou-se a observar quais artefatos são estruturados a partir do entendimento das classes de problemas.

De acordo com Lacerda et al. (2013), um artefato corresponde a uma organização de componentes do ambiente interno para atingir o objetivo em um determinado ambiente externo. A partir do estudo da literatura sobre a temática CIM, foram identificados três tipos principais de artefatos:

- i. Conceitualização da temática CIM;
- ii. Modelagem CIM para projetos urbanos;

iii. Modelagem CIM para projetos de subsistemas urbanos.

A primeira vertente de artefatos trata do entendimento profundo sobre a temática CIM para a sua conceitualização. Pesquisas como de Amorim (2016), Lima (2016), Stojanovski (2013) e Cavalcanti e Souza (2015) focam no debate sobre a conceitualização da temática CIM e o processo de construção de tecnologias baseada neste conceito.

Já os outros dois tipos de artefatos tem o foco voltado para a modelagem propriamente dita através do uso de tecnologias baseadas em conceito CIM. Pesquisas como de Beirão (2012) e Santana (2014) buscam, através da modelagem CIM, otimizar processos urbanos como a adequação do ambiente urbano a partir das legislações. Enquanto a pesquisa de Xu et al. (2014) é voltada para subsistemas urbanos, onde o foco está na criação de um sistema CIM que auxilie na prevenção à incêndios.

Com os artefatos listados a partir da revisão bibliográfica, definiu-se que esta pesquisa se basearia na construção de um artefato de modelagem CIM para projetos de subsistemas urbanos (iii), mais especificamente, para o subsistema urbano de coleta de resíduos sólidos.

Portanto, a presente pesquisa faz uso da interoperabilidade entre plataformas BIM e GIS para buscar uma solução baseada no conceito CIM com o intuito de analisar a logística da coleta de RSU. Como apontado anteriormente, serão abordadas durante o processo de concepção do artefato desta pesquisa as três classes de problemas apontados na literatura: (i) falta de plataforma única, (ii) interoperabilidade entre sistemas e (iii) volume de dados.

6 ETAPA ABDUTIVA

6.1 PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO

De acordo com Dresch e Lacerda (2016), na Etapa Abdutiva o pesquisador deve propor um artefato para preencher uma lacuna de conhecimento apresentada pelo segmento, como foi possível distinguir nas etapas anteriores.

Para a elaboração do artefato desta pesquisa algumas diretrizes mais práticas foram estabelecidas, de acordo com a identificação da necessidade da pesquisa e das classes de problemas.

- i. O artefato em questão deve obrigatoriamente ser baseado em uma tecnologia BIM de modo a contribuir com o avanço nas pesquisas sobre esse conceito;
- ii. Para reduzir as dificuldades encontradas no campo da interoperabilidade, devem ser discutidas as formas de se prosseguir com a elaboração do artefato, que se resumiram em três:
 - a. Utilização de *softwares* desenvolvidos por uma mesma desenvolvedora, com o intuito de contornar dificuldades com a interoperabilidade entre sistemas;
 - b. Utilização de *softwares* desenvolvidos por desenvolvedoras diferentes, mas que garantem a interoperabilidade entre si;
 - c. Fazer uso de formatos de arquivo aberto, como IFC e CityGML, para a integração dos dados.

Por fim, optou-se por utilizar *softwares* da mesma desenvolvedora dentro do ambiente GIS, e de desenvolvedoras diferentes para a integração de dados BIM e GIS. Contudo, também foi feito um estudo sobre a interoperabilidade entre padrões abertos para verificar a possibilidade de utilizar este método.

- iii. Para sanar a dificuldade com o grande volume de dados, uma área de tamanho reduzido deve ser pré-definida para o estudo do artefato, e devem

ser utilizados apenas dados referentes à geometria e produção de RSU para a modelagem CIM.

Determinadas as principais diretrizes a serem seguidas dentro da pesquisa, o artefato a ser desenvolvido foi definido como uma modelagem baseada no conceito CIM, criado a partir da integração de dados advindos de tecnologias BIM e GIS e dirigida ao estudo logístico da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos.

7 ETAPA DEDUTIVA

7.1 PROJETO DO ARTEFATO

Segundo Dresch e Lacerda (2016), a etapa Projeto do Artefato consiste em analisar as características internas do artefato a ser desenvolvido e o meio em que ele irá operar, para que, desta forma, seja possível visualizar quais são as soluções satisfatórias para este artefato.

O artefato proposto irá operar como um modelo simulado do meio urbano, partindo de dados volumétricos georreferenciados e parametrizações, obtidos da modelagem BIM, relacionados à produção de RSU da região, através da utilização de plataformaGIS (Figura 7.1).

Figura 7.1 - Fluxograma do projeto do artefato

Fonte: a autora.

A forma de avaliação do artefato proposto é experimental. De acordo com Lacerda (2013), a forma de análise experimental do artefato baseia-se em “estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades”.

A partir desta classificação, o modelo de simulação apresentado nesta pesquisa seguiu quatro etapas de desenvolvimento do projeto, cujas principais características serão especificadas a seguir.

ETAPA 01 – Modelagem BIM: A modelagem da área construída no meio urbano (edificações) e sua parametrização devem ser executadas em plataformas baseadas no conceito *Building Information Modeling*. Assim, primeira etapa do projeto tem como características internas a utilização de *software* BIM focado na modelagem arquitetônica de uma edificação, que tivesse a capacidade de criar novos campos de parametrização, para que, desta maneira, fosse possível inserir dados pertinentes à produção de RSU para cada modelo desenvolvido.

A modelagem BIM fornece os dados das edificações através da integração de dados com a plataforma GIS. Portanto, são consideradas soluções satisfatórias para esta primeira etapa:

- i. Modelagem BIM centrada especificamente em representação volumétrica;
- ii. Parametrização das modelagens BIM com dados referentes à produção de RSU: taxa de produção de RSU e produção de RSU por andar da edificação;
- iii. Interoperabilidade de dados BIM com dados GIS, sem a perda das informações volumétricas ou dados parametrizados das edificações modeladas em plataforma BIM.

ETAPA 02 – Modelagem GIS: Esta etapa concentra-se na escolha da plataforma GIS e a modelagem do meio urbano, onde foram inseridos os objetos BIM. As características internas principais desta etapa são a modelagem de dados tridimensionais para a construção do ambiente urbano, integração com dados BIM, desenvolvimento de análise logístico a partir dos dados inseridos, visualização de dados bi e tridimensionais, georreferenciamento de dados, além da plataforma ter que ser baseada em conceito GIS.

A modelagem GIS tem a função de representar o ambiente urbano, através da modelagem das outras edificações que não foram modeladas em BIM, além do

fornecimento de uma semântica para a compreensão urbana georreferenciada. Assim, são consideradas soluções satisfatórias para o desenvolvimento da modelagem GIS:

- i. Inserção de modelos BIM na plataforma GIS;
- ii. Modelagem e visualização de volumetrias na plataforma;
- iii. Possuir ferramentas de análise logística.

ETAPA 03 – Integração de dados BIM e GIS: Etapa com foco na interoperabilidade dos modelos BIM e GIS, de forma que seus dados possam ser integrados e analisados em conjunto, sem serem perdidos ou descaracterizados.

Para tanto, verificou-se que teoricamente a interoperabilidade entre dados BIM e GIS podem ocorrer principalmente de três formas distintas: Integração entre linguagens de padrão aberto; Importação de dados via banco de dados; ou importação de dados por extensões de arquivo compatíveis.

Esta etapa tem como soluções satisfatórias:

- i. Ao integrar dados BIM e GIS não há perda de informações ou descaracterização;
- ii. A plataforma GIS é capaz de identificar os dados BIM inseridos e analisá-los.

ETAPA 04 – Simulação de dados em ambiente CIM: Na última etapa do projeto pretendeu-se utilizar os dados BIM e GIS integrados para a simulação, criando, desta forma, um ambiente CIM, onde dados urbanos e construtivos apresentam-se de forma unificada. Dados relativos à produção de RSU advindos das modelagens BIM e das modelagens GIS foram simulados em conjunto para obter rotas de coleta que atendam a demanda da área pré-definida.

Esperou-se que nesta etapa da pesquisa fosse possível utilizar os dados BIM e GIS em conjunto para analisar a produção de RSU na área estipulada a partir da simulação CIM e, a partir de então, traçar rotas de forma a otimizar o uso da capacidade dos veículos coletores responsáveis pela coleta de RSU, assim como definir a quantidade de coletores que devem atender a região.

Com a concepção do artefato proposto, seguindo as etapas supracitadas, espera-se abrir caminho para futuros desenvolvimentos e salientar a importância da modelagem CIM para a simulação e otimização do ambiente urbano a partir do uso de dados de subsistemas urbanos, através da integração de dados BIM e GIS.

7.2 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

A etapa de desenvolvimento tem como objetivo explicitar como é construído o ambiente interno do artefato, levando em conta que o produto final é o artefato em estado funcional e a heurística de construção (DRESCH; LACERDA, 2016).

Nos próximos subcapítulos serão explicitados os passos para a construção do artefato proposto, levando em consideração a divisão anteriormente evidenciada: 1. Modelagem BIM; 2. Modelagem GIS; 3. Integração de dados BIM e GIS; e 4. Análise de dados em ambiente CIM.

7.2.1 Etapa 01 – Modelagem BIM

A modelagem BIM foi realizada a partir de quatro estágios de concepção da modelagem: 1. Definição de pré-requisitos básicos; 2. Escolha do software; 3. Modelagem de edificações; e 4. Exportação do arquivo para a plataforma GIS. A **Figura 7.2** apresenta o fluxograma da modelagem BIM e a definição de cada etapa.

Figura 7.2 - Fluxograma da Etapa de Modelagem BIM

Fonte: a autora.

Primeiramente, foram identificados os pré-requisitos básicos que uma plataforma BIM deve atender para garantir o desenvolvimento de objetos BIM com as características necessárias para a integração com o ambiente GIS e a formação de um ambiente CIM. Assim, para obter o resultado esperado, a plataforma BIM deve atender os seguintes requisitos:

- i. *Software* BIM com foco em modelagem arquitetônica tridimensional: Como informações sobre detalhes construtivos não serão utilizadas para o desenvolvimento do artefato e as modelagens BIM serão concebidos em nível LoD¹ 100, a plataforma BIM que atenda apenas a área de modelagem arquitetônica tridimensional foi considerada suficiente para a concepção do artefato;
- ii. Inserção de novos campos paramétricos: Para unir a modelagem geométrica com informações pertinentes à produção de RSU da edificação é obrigatório

¹ LoD: Acrônimo para o termo *Level of Details*, é uma referência utilizada para especificar o conteúdo e a confiabilidade dos modelos BIM ao longo de todo o período de projeto e execução. Define as características dos elementos dos sistemas em diferentes níveis de desenvolvimento, permitindo que os usuários entendam a usabilidade e as limitações das informações que recebem (BIM FORUM, 2019).

que o software BIM permita a criação de novos campos paramétricos, que não fazem parte do sistema *default* do ambiente BIM.

- iii. Interoperabilidade com sistema GIS: A plataforma BIM escolhida deve garantir interoperabilidade com o sistema GIS de forma que não exista perda de informações na transferência de dados.

Para analisar os softwares disponíveis e escolher aquele que melhor se adequasse à pesquisa, foi realizado um levantamento das principais plataformas baseadas em conceito BIM disponíveis no mercado brasileiro e que atendam os pré-requisitos mencionados. No Apêndice deste trabalho encontra-se a lista das plataformas BIM analisadas, com a descrição das principais funções de cada uma delas.

Após a análise de plataformas BIM, optou-se pela utilização do *software* Revit 2018, da desenvolvedora americana Autodesk. O Revit é uma plataforma tecnológica baseada no conceito BIM, que tem como foco o desenvolvimento de projetos de arquitetura, urbanismo, design e engenharia através da modelagem tridimensional de elementos parametrizados (AUTODESK HELP, 2019).

O Revit foi a plataforma selecionada por dispor de uma série de requisitos necessários para o desenvolvimento do projeto, sendo estes:

- i. Plataforma com foco em modelagem de projetos de edificações;
- ii. Criação de novos campos de parametrização (através da criação de parâmetros por instância);
- iii. Exportação de arquivo através de padrão IFC;
- iv. Exportação de dados paramétricos em formato de banco de dados SQL;
- v. Interoperabilidade com algumas plataformas GIS.

Além dos requisitos supracitados, também influenciou positivamente para a escolha desta plataforma o fato de existir um conhecimento prévio sobre o manejo da ferramenta por parte dos pesquisadores, e a empresa desenvolvedora Autodesk oferecer gratuidade na licença estudantil deste *software*.

Com a plataforma BIM definida, iniciou-se o processo de desenvolvimento das modelagens, tomando como base edificações com volumetria, quantidade de pavimentos e quantidade de unidades habitacionais conhecidas. As edificações escolhidas para serem modeladas em BIM fazem parte do Condomínio Vila Nova Leopoldina 2, localizado na Rua Nagel, 12, Vila Leopoldina – São Paulo. O condomínio é constituído por seis torres, com 29 andares residenciais, cada andar composto por duas unidades habitacionais. Estas seis torres foram modeladas em Revit, sendo que os principais dados a serem modelados são pertinentes à (i) construção volumétrica, (ii) parametrização de dados, e (iii) georreferenciação do empreendimento.

Foi desenvolvida, através da construção volumétrica (i), uma modelagem de baixo nível de informação geométrica, para que os arquivos gerados não acabassem ficando demasiadamente grandes, o que possivelmente dificultaria a inserção dos modelos no sistema GIS.

Primeiramente, para a representação geométrica de edificações, foi testado o desenvolvimento de volumes de massa no Revit, utilizando a ferramenta *In-Place Mass*. A vantagem de desenvolver a construção volumétrica através do uso de ferramenta de criação de volume de massa é a possibilidade de diminuir a quantidade de informações volumétricas não relevantes para a modelagem CIM. Volumes de massa são criados para conter apenas as dimensões de uma edificação, não incluindo em sua formação dados pertinentes à sistemas construtivos, o que torna o arquivo muito menor.

No entanto, notou-se um problema de interoperabilidade entre as plataformas BIM e GIS, ao importar a modelagem desenvolvida como volume de massa. As parametrizações criadas para fornecer informações pertinentes à modelagem não foram reconhecidas em ambiente GIS. Tal dificuldade impossibilitou a utilização de modelagens baseadas em volume de massa para o desenvolvimento deste artefato. O mesmo problema não aconteceu quando a modelagem foi desenvolvida a partir de sistemas construtivos. A comparação entre a modelagem desenvolvida como volume de massa e a modelagem feita a partir de sistemas construtivos é ilustrada na **Figura 7.3**.

Figura 7.3 - Comparação entre modelagens BIM: Volume de massa e sistemas construtivos

Fonte: a autora.

Já que a modelagem BIM deveria conter mais informações geométricas do que apenas o volume de massa, optou-se por criar volumetrias que apresentassem apenas as estruturas básicas necessárias para o desenvolvimento da modelagem. Desta forma, a volumetria foi composta apenas pelos *Layers* do tipo *Floors* e *Walls*. Com as volumetrias definidas, a plataforma Revit já fornece automaticamente as tabelas de área e volume por pavimento do objeto construído (**Figura 7.4**). Modelos BIM são enviados para a aprovação na Prefeitura com as estruturas arquitetônicas estabelecidas, utilizando para tanto *Layers* de objetos construtivos, como *Floors* e *Walls*. Assim, existe a vantagem de poder se aproveitar projetos para aprovação na Prefeitura para a realização do mapeamento de produção de RSU de uma determinada região através de modelos BIM.

Figura 7.4 - Volumetria da edificação modelada na plataforma BIM – Revit 2018, identificando as áreas por pavimento

Fonte: a autora.

A parametrização de dados (ii) no Revit 2018 foi desenvolvida a partir da utilização da ferramenta *Project Parameter* (**Figura 7.5**). As regras de parametrização dos modelos BIM foram traçadas com o objetivo de identificar a quantidade de RSU cada edificação produz por dia. Assim, seis parâmetros foram inseridos nos modelos:

- i. Apto/andar: Quantidade de unidades habitacionais por andar da edificação;
- ii. Hab/apto: Define a quantidade média de residentes por unidade habitacional;
- iii. Uso_edif: Indicação do uso da edificação, subdividido nas categorias: edificação residencial (médio e alto padrão, e casas), e edificação comercial (pequeno e grande porte);

- iv. Tx_rsu: Indicação da taxa de produção de resíduos sólidos urbanos *per capita*, de acordo com dados fornecidos pela Abrelpe (2017). A taxa varia de acordo com o uso da edificação, e o dado é fornecido em kg/hab.dia;
- v. Qtdade andar: Indicação da quantidade de unidades habitacionais por pavimento da edificação;
- vi. Prod_rsu: Campo calculado que indica a produção total de resíduos sólidos urbanos por pavimento por dia, dado em kg/dia, e calculado por:

$$Prod_{RSU} = Tx_{RSU} \times Qtdade_{andar} \times \frac{Apto}{Andar} \times \frac{Hab}{Apto}$$

Figura 7.5 - Parametrização de dados na Ferramenta Project Parameter do Revit 2018

Fonte: a autora.

Os parâmetros criados em ambiente BIM foram inseridos no *layer Floors* de cada projeto. Esta definição é de suma importância para a simulação, uma vez que, mais adiante, ao unir arquivos BIM e GIS, as parametrizações devem apresentar dados por pavimento no modelo BIM, além de estarem inseridas em um *layer* que o sistema GIS seja capaz de detectar.

Por fim, a georreferenciação do empreendimento (iii) tem papel relevante dentro da modelagem BIM, já que é o referencial para a inserção dos modelos dentro do ambiente

GIS. Para tanto, especificar o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) das modelagens BIM mostrou-se um dos pontos chave para posteriormente realizar a integração com o sistema GIS. Isto é importante porque se as modelagens BIM estão num SRC diferente das modelagens GIS, a volumetria não será inserida na coordenada correta, trazendo retrabalho na importação dos modelos. Para este projeto, o SRC seguido foi o *EPSG:3857 – WGS84 Web Mercator (Auxiliary Sphere)*. Este dado foi inserido na modelagem BIM, juntamente com a parametrização das coordenadas de latitude e longitude de cada edificação, para que cada modelo BIM seja importado na posição e escala correta dentro do ambiente GIS.

Figura 7.6 - Dados volumétricos, paramétricos e georreferenciados em plataforma BIM – Revit 2018

Fonte: a autora.

Ao todo, seis edificações foram modeladas em ambiente BIM, representando dois conjuntos de edificações. Um conjunto situado na Rua Bauman (alto padrão), e o outro

situado na rua Froben (médio padrão). A **Tabela 1** exibe o resumo de dados das modelagens BIM desenvolvidas nesta etapa de desenvolvimento do artefato.

Tabela 1 - Resumo de dados da modelagem BIM

RESUMO - MODELAGEM BIM									
MODELAGEM ID	QUANTIDADE DE PAVIMENTOS ÚTEIS	UNIDADES HABITACIONAIS		AREA (m ²)		HABITANTES / UNID. HAB. (média)	USO DA EDIFICAÇÃO	PRODUÇÃO DE RSU (kg/dia)	
		/ PAVIMENTO	TOTAL	/ PAVIMENTO	TOTAL			PER CAPITA	TOTAL
Froben 01	16	4	64	488.40	7814.40	3.6	Residencial médio padrão	1.217	280.40
Froben 02	16	4	64	488.40	7814.40	3.8	Residencial médio padrão	1.217	295.97
Froben 03	16	4	64	488.40	7814.40	3.1	Residencial médio padrão	1.217	241.45
Baumman 01	32	2	64	381.64	12212.48	3.1	Residencial alto padrão	1.217	241.45
Baumman 02	32	2	64	381.64	12212.48	2.5	Residencial alto padrão	1.217	194.72
Baumman 03	32	2	64	381.64	12212.48	2.9	Residencial alto padrão	1.217	225.88

Fonte: a autora.

7.2.2 Etapa 02 – Modelagem GIS

Na etapa da modelagem GIS o processo de construção do ambiente também foi dividido em três estágios: 1. Definição dos pré-requisitos básicos da plataforma; 2. Escolha do *software* para modelagem; e 3. Modelagem do meio urbano. A **Figura 7.7** representa o fluxograma de resumo da modelagem GIS.

Figura 7.7 - Fluxograma da Etapa de Modelagem GIS

Fonte: a autora.

Para selecionar a plataforma GIS a ser utilizada nesta pesquisa foram estabelecidos pré-requisitos, de forma a garantir a modelagem do ambiente urbano parametrizado e a integração com dados BIM:

- i. Plataforma GIS deve permitir a visualização topográfica da região;
- ii. Interoperabilidade com plataforma BIM;
- iii. Leitura tanto de dados bidimensionais quanto tridimensionais;
- iv. Modelagem de volumetrias representativas do ambiente urbano (edificações);
- v. Análise de dados georreferenciados;
- vi. Simulação logística da coleta de RSU.

Para a etapa de definição da plataforma GIS, comparou-se o *software* Infraworks 360, da desenvolvedora Autodesk, com o ArcGIS Pro da desenvolvedora Esri, já que ambas tecnologias apresentam interoperabilidade com a plataforma Revit, da Autodesk. O

principal objetivo desta comparação foi analisar a compatibilidade das plataformas com as necessidades existentes para a concepção do artefato. A **Tabela 2** apresenta a comparação do Infraworks 360 com o ArcGIS Pro em relação aos requisitos necessários para a simulação CIM.

Tabela 2 - Comparativo entre plataformas GIS, Infraworks 360 e ArcGIS Pro

COMPARATIVO PLATAFORMAS GIS		
REQUISITOS	PLATAFORMA	
	Infraworks 360	ArcGIS Pro
Desenvolvedora	AutoDesk	Esri
Interoperabilidade BIM	Sim	Sim
Visualização 3D	Sim	Sim
Visualização topográfica	Sim	Sim
Análise de dados tabulados	Não	Sim
Análise logística	Sim	Sim
Programação de rotas	Sim	Sim
Modelagem de geometrias	Sim	Não
Licença gratuita	Sim	Não

Fonte: Autodesk Help (2019); Esri (2019).

A partir dessa comparação, inicialmente o *software* Infraworks 360 foi escolhido para compor a modelagem GIS, por dois principais motivos:

- i. A plataforma Infraworks 360 garante a modelagem de estruturas urbanas (tanto na esfera urbana, através de vias e calçamentos, como na esfera construtiva, através da modelagem de edificações) e a análise logística e de tráfego e logística no mesmo sistema;
- ii. Os *softwares* fabricados pelo mesmo desenvolvedor teoricamente têm maior probabilidade de interoperabilidade.

O Capítulo 7.2.2.1 a seguir irá abordar o desenvolvimento do processo de modelagem GIS com a utilização da ferramenta Infraworks 360, e as dificuldades encontradas para a integração do modelo com as modelagens BIM.

7.2.2.1 Modelagem com plataforma Infraworks 360

O Infraworks 360 é uma plataforma desenvolvida pela Autodesk, que tem como principal objetivo ser uma ferramenta computacional capaz de auxiliar na concepção do projeto e do planejamento de uma cidade (CHAPPELL, 2015).

Ainda de acordo com Chappell (2015), a plataforma Infraworks 360 tem a capacidade de combinar aspectos relativos a informações geográficas (GIS), com a visualização tridimensional do ambiente urbano e a inserção de elementos construtivos (como edificações, pontes, vias e rodovias). A combinação destes elementos torna o *software* Infraworks 360 uma excelente ferramenta para criar modelos simulados de cidades e analisar o funcionamento dos subsistemas urbanos, como a coleta de RSU, abordada na presente pesquisa.

Para o desenvolvimento do ambiente urbano no Infraworks 360 é necessário desenvolver a modelagem de:

1. Vias e calçamentos da área delimitada;
2. Geometrias urbanas (edificações) que não foram parametrizadas em ambiente BIM, mas que compõem o ambiente urbano em que as modelagens BIM serão inseridas.

A modelagem de geometrias urbanas se faz necessária para inserir as modelagens BIM em um ambiente urbano que contenha volumetrias com informações sobre as médias de produção de RSU. Como as edificações modeladas em ambiente BIM eram situadas no bairro Vila Leopoldina, em São Paulo, foram utilizados para o desenvolvimento da modelagem urbana dados do mesmo bairro. Também foi definido uma área de modelagem do meio urbano de aproximadamente 2 quilômetros quadrados (km²).

Tanto as modelagens de vias e calçamentos quanto das geometrias urbanas de um determinado trecho são obtidas através de uma parceria da desenvolvedora Autodesk com a iniciativa *Open Data* denominada *Open Street Map* (OSM).

O OSM é de um projeto de mapeamento colaborativo mundial, que tem como principal objetivo criar e disponibilizar dados geográficos precisos de diversas partes do mundo de forma aberta e gratuita (OPEN STREET MAPS, 2015).

Como a plataforma OSM possui parceria com diversas agências públicas, inclusive com a Prefeitura de São Paulo, grande parte da cidade já apresenta parametrizações geométricas, a partir de dados fornecidos pela própria Prefeitura.

Assim, a ferramenta Gerador de Modelo (**Figura 7.8**) do Infraworks permitiu a criação da visualização da área urbana selecionada com até 200 km², contendo dados topográficos, vias e calçamentos, advindos do sistema online de mapeamento da empresa americana Microsoft, o Bing Maps, e volumetrias de edificações, obtidas a partir da conexão com a plataforma OSM.

Figura 7.8 - Imagem capturada da plataforma Infraworks 360, da modelagem urbana desenvolvida a partir dos dados fornecidos pelo OSM

Fonte: a autora.

As plataformas Revit 2018 e Infraworks 360, ambas desenvolvidas pela Autodesk, têm a interoperabilidade entre seus sistemas garantida pela desenvolvedora. Assim, para

inserir os modelos BIM no Infracworks 360 foi necessário importar o arquivo no formato principal do Revit, .RVT. A importação de modelos BIM é feita a partir do uso da ferramenta Origens dos Dados, que é capaz de reconhecer diversos tipos de arquivos, como IFC, CityGML, .SHP, .DWG e .RVT (**Figura 7.9**).

Figura 7.9 - Ferramenta Origens dos Dados, da plataforma Infracworks 360, para a importação de arquivos de diversos formatos e indicação do objeto BIM na modelagem

Fonte: a autora.

A integração dos dados geométricos não sofreu nenhuma modificação, tanto no modelo GIS quanto no modelo BIM, reiterando a interoperabilidade garantida pela desenvolvedora. Com a importação do modelo BIM no ambiente urbano, tornou-se possível visualizar as parametrizações geométricas da construção, tais como área, altura e perímetro. Todavia, os parâmetros adicionais, criados através da plataforma Revit, como produção de RSU e habitantes por unidade habitacional, não foram reconhecidos dentro da plataforma Infracworks 360.

Devido a esta complicação de reconhecimento de dados por parte do Infracworks 360, optou-se por importar o arquivo BIM através do padrão IFC, já que neste tipo de arquivo é possível observar os dados que serão transferidos de uma plataforma à outra.

Novamente, foi observado que as parametrizações volumétricas, que estão no modelo *default* do Revit, são dados reconhecidos pelo Infraworks 360, mas não foi possível visualizar as parametrizações adicionais (**Figura 7.10**).

Figura 7.10 - Visualização de parâmetros geométricos da modelagem BIM importada no Infraworks 360

Fonte: a autora.

A lacuna de perda de informações parametrizadas observada na integração de dados entre as plataformas Revit 2018 e Infraworks 360 demonstra que, mesmo entre tecnologias pertencentes à mesma desenvolvedora, existem problemas de interoperabilidade. Como o uso de dados parametrizados adicionados ao modelo BIM é parte essencial para o desenvolvimento do artefato, optou-se por descontinuar o uso da plataforma Infraworks 360, da Autodesk, para a modelagem GIS desta pesquisa e procurar outra solução.

Assim, o desenvolvimento da modelagem GIS voltou-se para a utilização das plataformas ArcGIS Pro e CityEngine, ambas da desenvolvedora Esri. O desenvolvimento da etapa de modelagem GIS através destas plataformas será descrito

no Capítulo 7.2.2.2, explicitando a necessidade da utilização de duas plataformas e a integração com os dados BIM.

7.2.2.2 Modelagem com plataformas ArcGIS Pro e City Engine

Com a descontinuidade do uso da plataforma Infracore, optou-se por utilizar o ArcGIS Pro, da desenvolvedora americana Esri, especializada em soluções para a área de informações geográficas. A plataforma ArcGIS Pro é uma ferramenta baseada no conceito GIS, que tem como principais vertentes o mapeamento 2D e 3D, processamento de imagens, análise de dados e o gerenciamento e integração de dados através de sistema de camadas (ESRI, 2019a).

Esta plataforma foi selecionada por apresentar uma boa interoperabilidade com a ferramenta da Autodesk, Revit, trazer a possibilidade de automatizar algumas funções através de linguagem Python e pelo sistema de análise de dados com diversas funcionalidades, dentre elas, a análise e simulação logística.

O único requisito necessário para a construção do artefato que o *software* ArcGIS Pro não atende é a modelagem de geometrias urbanas (edificações). Para tanto, buscou-se nas soluções da Esri formas para sanar esta dificuldade, já que a modelagem de edificações é essencial para criar o ambiente urbano onde serão inseridos os modelos BIM parametrizados.

A alternativa apresentada pela própria desenvolvedora é a utilização da plataforma CityEngine (**Figura 7.11**), que possui ferramentas para a criação de modelagem do meio urbano através do uso de dados abertos fornecidos pelo OSM. Como o CityEngine também é desenvolvido pela Esri, a empresa garante a interoperabilidade deste *software* com o ArcGIS Pro, através da importação de dados do CityEngine em formato Geodatabase (.GDB) para uma camada de dados tridimensionais no ArcGIS Pro.

Figura 7.11 - Interface da plataforma CityEngine, da Esri

Fonte: a autora.

Para criar a geometria do ambiente urbano no sistema GIS, através da integração de dados entre plataformas CityEngine e ArcGIS Pro, os seguintes passos foram percorridos:

1. Definição de recorte urbano, através da seleção de área no CityEngine, respeitando o limite imposto pela plataforma de uma área de 900km²;
2. Desenvolvimento da modelagem geométrica urbana na plataforma CityEngine, importando dados relativos à geometria urbana pelo banco de dados do OSM;
3. Exportar arquivo de geometria urbana desenvolvido no CityEngine em formato .GDB;
4. Criar camada de dados topográficos, com visualização de vias e calçamentos, no ArcGIS Pro;
5. Importar modelo geométrico (.GDB) desenvolvido na plataforma CityEngine para o ArcGIS Pro, como nova camada de dados tridimensionais, integrando com dados topográficos já existentes.

O passo 1, descrito anteriormente, foi realizado a partir da utilização da ferramenta *Get Map Data*, do software CityEngine (Figura 7.12). Dentro desta ferramenta foi necessário definir exatamente o mesmo SRC inserido da etapa de modelagem BIM, o WGS 1984 *Web Mercator (Auxiliary Sphere)*. Também foi definido a resolução das modelagens. Para o artefato proposto, o desenvolvimento das modelagens foi realizado em baixa resolução, para que, após a união de dados urbanos e dados construtivos para o desenvolvimento da simulação CIM, o arquivo final não se tornasse demasiadamente grande, o que acarretaria numa dificuldade no processamento de dados pela plataforma GIS.

Figura 7.12 - Ferramenta *Get Map Data*, da plataforma CityEngine

Fonte: a autora.

Da mesma forma que o Infraworks, a plataforma CityEngine também utiliza a base de dados do OSM para criar as volumetrias e parametrizá-las com os dados abertos existentes (Figura 7.13). Foram selecionados para a utilização posterior apenas dados referentes à geometria das edificações.

Figura 7.13 - Dados inseridos na modelagem GIS do banco de dados OSM

Fonte: a autora.

É importante ressaltar que apesar do *software* CityEngine também ser capaz de gerar a visualização de vias e calçamentos a partir de dados do OSM, optou-se por gerar estes dados específicos diretamente no ArcGIS Pro. Esta decisão foi tomada com a intenção de que não exista sobreposição de dados mais adiante, na etapa de análise de dados logísticos, onde a parametrização de vias é relevante para a obtenção dos resultados.

Com o conjunto de volumetrias definido e modelado na plataforma CityEngine, este arquivo é exportado em formato .GDB (como explicitado no passo 3), para posteriormente ser integrado com as modelagens criadas na plataforma ArcGIS Pro.

Na plataforma ArcGIS Pro, a base para a modelagem GIS e as camadas de informações são dados geográficos. Foram utilizados para a concepção deste artefato dados

topográficos vindos do mapa base *Topographic* (**Figura 7.14**), que já possui a delimitação e o reconhecimento de vias locais.

Figura 7.14 - Inserção de dados topográficos no sistema ArcGIS Pro

Fonte: a autora.

Como o ArcGIS Pro é uma ferramenta GIS baseada na inserção de dados por camadas, acima da camada de topografia foi adicionada a camada de volumetrias criada na plataforma CityEngine, importando o arquivo .GDB e incluindo-o no projeto como uma camada de valores tridimensionais (**Figura 7.15**).

Figura 7.15 - Junção de dados topográficos e volumetrias no ArcGIS Pro

Fonte: a autora.

Com a integração entre as geometrias criadas no CityEngine e a topografia vinda do ArcGIS Pro, a fase da modelagem volumétrica do meio urbano foi finalizada, sendo necessária, em seguida, a parametrização desses objetos.

Diferentemente do BIM, as geometrias urbanas criadas em ambiente GIS foram parametrizadas seguindo uma única regra, que estabelece uma média de produção de RSU na região. Esta parametrização é importante para inserir no ambiente urbano os dados de média de produção de RSU fornecidos pela Abrelpe (2016), e compará-los com os dados reais de produção que foram inseridos nas modelagens BIM.

Enquanto os dados relativos à produção RSU do IBGE são médias estimadas a partir da coleta de dados da quantidade de resíduos depositada em aterros, ou seja, um cálculo feito após a produção dos RSU, os dados BIM são baseados na quantidade real de habitantes de cada edificação, que pode ser atualizada a qualquer momento e são calculados antes da produção de resíduos.

Como o conjunto de volumetrias criadas no sistema GIS é diversa, de vários tamanhos, usos e áreas diferentes, foi necessário estabelecer regras que delimitassem a área útil, uso da edificação e quantidade de usuários de cada modelo. O ArcGIS Pro não possui

ferramentas para criar estas regras de forma automática. Para resolver este problema foram concebidos algoritmos em linguagem Python para que, ao rodá-los no sistema GIS, fosse possível categorizar as volumetrias de acordo com suas formas e, por fim, atribuir a produção de RSU para cada modelagem.

A utilização de algoritmos é essencial para a parametrização das modelagens urbanas, uma vez que se trata de um conjunto com cerca de 2.000 linhas de dados, cada uma representando uma volumetria única. Os parâmetros criados em linguagem Python foram área, pavimentos, habitantes, uso da edificação e taxa de produção de RSU, para assim estabelecer a produção de RSU por volumetria representada. A seguir, será explicitada a lógica para a concepção de cada algoritmo representante dos parâmetros listados.

Área: Este parâmetro diz respeito à área projetada de cada volumetria. É importante calcular a área projetada de cada modelagem porque é a partir destes dados que serão calculados os parâmetros de Uso da edificação e Quantidade de habitantes por edificação.

Uso da edificação: é o parâmetro obtido a partir dos dados de área projetada e altura, e tem como objetivo estabelecer regras que definam o uso da edificação de acordo com o tamanho que a volumetria apresenta. O parâmetro é dividido em três principais categorias: edícula (para áreas menores que 20m²), residencial (áreas entre 20 e 1.500m²) e comercial (áreas acima de 1.500m²). A categoria residencial ainda será subdividida em outras três, através da análise da altura: casa (até 9 metros de altura), edificação de médio padrão (entre 9 e 45 metros de altura) e edificação de alto padrão (para volumetrias com mais de 45 metros de altura). Vale ressaltar que a categoria edícula não será utilizada em nenhum cálculo posterior, pois trata-se de construções com dimensões mínimas, não sendo viável o uso como moradia, apenas como depósito. A **Figura 7.16** apresenta o algoritmo para a criação deste parâmetro.

Figura 7.16 - Algoritmo que determina o uso da edificação

```

1 #CÓDIGO PARA USO DA EDIFICAÇÃO#
2
3 uso_edif=uso(!area_proj!,!height!)
4
5 def uso(area,altura):
6     if (area<40):
7         return 'comercial_peq'
8     elif (area>40 and area<1500):
9         if(altura<9):
10            return 'res_casa'
11            elif(altura>9 and altura<45):
12                return 'res_mediopd'
13                elif(altura>45):
14                    return 'res_altopd'
15            elif (area>1500):
16                return 'comercial'

```

Fonte: a autora.

Pavimentos: Este parâmetro identifica a quantidade de pavimentos que cada edificação possui através dos dados de altura e uso da edificação. Considerou-se para este estudo que edificações residenciais de médio padrão possuem o pé direito de 2,8 metros, e de alto padrão 3,2 metros. Além de desconsiderar 4 metros de altura devido à exclusão das áreas de *hall* das edificações. Para edificações comerciais foi considerado um pé direito de 4 metros. A partir do parâmetro de quantidade de pavimentos é possível calcular a quantidade de usuários por edificação e, conseqüentemente, a quantidade de produção de RSU. A seguir, a **Figura 7.17** representa o algoritmo para o parâmetro Pavimentos.

Figura 7.17 - Algoritmo que determina quantidade de pavimentos da edificação

```

1 #CODIGO PARA PAVIMENTOS#
2
3 pav_edif=pavimentos(!height!,!uso_edif!)
4
5 def pavimentos(altura,uso):
6     if (uso=='comercial_peq'):
7         return 1
8     elif (uso=='res_casa'):
9         return 1
10    elif (uso=='res_mediopd'):
11        return ((altura-4)/2.8)
12    elif (uso=='res_altopd'):
13        return ((altura-4)/3.2)
14    elif (uso=='comercial'):
15        if (altura<=4):
16            return 1
17        elif (altura>4):
18            return (altura/4)

```

Fonte: a autora.

Habitantes: O parâmetro determina a quantidade de habitantes por volumetria. Os dados utilizados para a composição deste parâmetro são área, pavimentos e uso da edificação. A partir do estudo apresentado por Ferreira e Castiñeiras (2018), foi estabelecida a média de 3,2 habitantes por unidade habitacional. Para edificações de médio padrão, considerou-se 4 unidades habitacionais por pavimento, e para alto padrão 2 unidades. No caso das unidades comerciais, não existe uma estatística que determine quantos funcionários cada comércio possui, uma vez que este dado vai depender do segmento comercial. Assim, partiu-se do pressuposto que todos os comércios da região possuem 1 funcionário para cada 80m² de área comercial. O algoritmo para cálculo de quantidade de habitantes por volumetria é apresentado na **Figura 7.18**.

Figura 7.18 - Algoritmo que determina a quantidade média de habitantes por edificação

```

1 #CODIGO PARA CALCULO DE HABITANTES#
2
3 hab_edif=hab(!area_proj!,!pav_edif!,!uso_edif!)
4
5 def hab(area,pavimentos,uso):
6     if (uso=='res_casa'):
7         return 3.2
8     elif (uso=='res_mediopd'):
9         return (pavimentos*4*3.2)
10    elif (uso=='res_altopd'):
11        return (pavimentos*2*3.2)
12    elif (uso=='comercial_peq'):
13        return 1
14    elif (uso=='comercial'):
15        return ((area*pavimentos)/80)

```

Fonte: a autora.

Taxa de produção de RSU: Parâmetro que define a produção de resíduos sólidos *per capita* (kg/hab.dia). A taxa de produção de RSU varia de acordo com o uso da edificação. Para edificações do tipo residencial, foi considerada a média de produção *per capita* da região Sudeste em 2017, de 1,217 kg/hab.dia (ABRELPE, 2018). Já para edificações comerciais, não é possível aferir com precisão a produção de RSU, uma vez que este valor depende do tipo de comércio. Portanto, para edificações comerciais, estipulou-se uma média acima da residencial *per capita*, apenas como modo de diferenciação de contribuição de acordo com o uso da edificação. Assim, a média utilizada para este tipo de volumetria foi de 1,362 kg/hab.dia, apresentada pelo relatório anual da Abrelpe (2017). Como a produção de RSU para edificações comerciais de grande porte é muito variável, além de ter coleta específica, este tipo de edificação foi excluída do estudo. A **Figura 7.19** representa o algoritmo de cálculo da taxa de produção de RSU.

Figura 7.19 - Algoritmo que determina a taxa de produção de RSU de cada edificação

```

1 #TAXA DE PRODUÇÃO DE RSU#
2
3 TX_RSU=taxa(!uso_edif!)
4
5 def taxa(uso):
6     if (uso=='res_casa'):
7         return 1.217
8     elif (uso=='res_mediopd'):
9         return 1.217
10    elif (uso=='res_altopd'):
11        return 1.217
12    elif (uso=='comercial_peq'):
13        return 1.362
14    elif (uso=='comercial'):
15        return 0

```

Fonte: a autora.

Produção de RSU: O último parâmetro criado diz respeito ao cálculo da produção de RSU gerado por cada edificação por dia. Este parâmetro é obtido através da multiplicação da quantidade de habitantes pela taxa de produção de RSU, e é representado em kg/dia. O parâmetro de Produção de RSU será utilizado mais adiante, para compor o cenário de produção de RSU da região estipulada, juntamente com os dados obtidos das edificações modeladas em ambiente BIM. A **Figura 7.20** apresenta o algoritmo para o cálculo do parâmetro.

Figura 7.20 - Algoritmo que determina a produção de RSU de cada edificação

```

1 #PRODUÇÃO DE RSU POR EDIFICAÇÃO POR DIA#
2
3 prod_rsu=(!hab_edif!*!tx_rsu!)
4

```

Fonte: a autora.

Através das regras de parametrização desenvolvidas a partir de algoritmos em Python, todas as volumetrias do conjunto GIS foram parametrizadas. Tais dados podem ser visualizados em formato de tabela dentro do sistema ArcGIS Pro, como apresentado na **Figura 7.21**, onde cada linha representa uma volumetria parametrizada.

Figura 7.21 - Conjunto de dados paramétricos GIS na plataforma ArcGIS Pro

Fonte: a autora.

Ao todo, foram modelados em ambiente GIS 1.766 volumetrias que representam edificações dos tipos residencial e comercial. A **Tabela 3** exibe o resumo dos dados GIS.

Tabela 3 - Resumo dos dados das modelagens GIS

RESUMO - MODELAGENS GIS								
USO DA EDIFICAÇÃO	QDTADE. DE UNIDADES MODELADAS	ÁREA (m²)		ALTURA (m)		HABITANTES / UNID. HAB. (média)	PRODUÇÃO DE RSU (Kg/dia)	TOTAL
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO			
comercial_peq	117	0	40	-	-	1.0/unid.	1.362	159.35
comercial	165	1500	-	-	-	0	0	0
res_casa	1355	40	1500	0.00	9.00	3.2	1.217	5276.91
res_mediopd	87	40	1500	9.00	45.00	3.2	1.217	9701.36
res_altopd	42	40	1500	45.00	-	3.2	1.217	5659.97

Fonte: a autora.

Por fim, a modelagem GIS apresenta volumetrias do meio urbano, devidamente georreferenciadas, com dados paramétricos definidos através de regras que generalizam a produção de RSU da área estabelecida. Após o desenvolvimento das modelagens BIM

e GIS anteriormente descritas, se faz necessário a integração destes dados, que será explicitada no Capítulo 7.2.3.

7.2.3 Etapa 03 – Integração de dados BIM e GIS

A formação de um ambiente CIM, como proposto neste trabalho, é desenvolvida a partir da integração de dados construtivos (BIM) com dados urbanos (GIS), que já foram anteriormente modelados. Esta integração será construída em ambiente GIS, uma vez que os dados BIM são inseridos no ambiente urbano e não o oposto.

Para a interoperabilidade destes dados, estudaram-se três formas possíveis de integração: i. Linguagens de padrão aberto; ii. Banco de dados; e iii. Formato proprietário. A seguir, serão explanadas estas formas de integração de dados, e os prós e contras no emprego das mesmas.

- i. Integração através de linguagens de padrão aberto – IFC e CityGML: Primeiramente, estudou-se a viabilidade de integrar as informações BIM e GIS através da interoperabilidade entre seus respectivos modelos de dados de padrão aberto, IFC (*Industry Foundation Classes*) e CityGML. Enquanto o IFC tem como objetivo descrever dados do setor da indústria de construção (ISO, 2018), o CityGML define a geometria tridimensional, a semântica e a aparência dos objetos topográficos no contexto urbano (GRÖGER; PLÜMER, 2012). Nagel e Kolbe (2007) evidenciam que para transferir dados do IFC para CityGML é necessário uma transformação geométrica e semântica do modelo volumétrico, através de simplificações na volumetria, que representarão o modelo construtivo no ambiente urbano.

Para tanto, foi utilizada nesta pesquisa a ferramenta computacional FME Workbench para integrar os dados BIM e GIS através do IFC e CityGML. A ferramenta FME Workbench (**Figura 7.22**) é um editor visual de fluxo de trabalho para a conversão de dados.

Figura 7.22 - Conexão de informação do formato IFC com informações no formato CityGML, através da ferramenta FME Workbench

Fonte: a autora.

Notou-se através deste sistema que muitas informações sobre as modelagens BIM são perdidas ao converter dados .IFC para .GML. Isto ocorre por diversos parâmetros contidos no padrão IFC não terem sua correspondência no padrão CityGML, como dados relativos a instalações, pavimentos e revestimento. Já que para o desenvolvimento deste artefato a definição de pavimentos e seus parâmetros é relevante, além da conversão de dados IFC para CityGML ser bastante complexa e apresentar grande perda de informações no processo, optou-se por não seguir este caminho para a integração de dados BIM e GIS.

- ii. Integração através de sistema de banco de dados: Esta forma de integração de dados busca exportar os dados geométricos dos modelos BIM, em formato .RVT, para serem inseridos em ambiente GIS como uma camada de dados tridimensionais. Já os dados BIM paramétricos são exportados em formato de

banco de dados do tipo .ACCDB². A dissociação dos dados geométricos de dados paramétricos traz como benefícios (i) o poder de seleção de quais parâmetros serão inseridos no modelo CIM e (ii) um arquivo mais enxuto para ser importado no sistema GIS.

Quando os dados BIM vindos do Revit são exportados em formato de banco de dados, não há um georreferenciamento associado a estes dados, ou seja, é necessário atribuir coordenadas de localização para que cada informação seja associada à uma referência exata. Assim, houve a necessidade de converter os dados de formato .ACCDB para o padrão Shapefile (.SHP³), novamente através da ferramenta FME Workbench (**Figura 7.23**).

Como apenas os dados contidos na Categoria *Floors* do Revit serão utilizados para a modelagem CIM, estes foram os dados convertidos em arquivo tipo .SHP e exportados para a plataforma ArcGIS Pro.

² Extensão de arquivo .ACCDB: É o formato de extensão de arquivo criado pela desenvolvedora Microsoft. Esta extensão refere-se à um banco de dados, e pode ser editado através de plataformas de banco de dados como os softwares Access e SQL Server.

³ Extensão de arquivo .SHP: É o formato de extensão de arquivo desenvolvido pela Esri. Trata-se de um arquivo que contém dados geoespaciais em formato de vetores, utilizado no sistema GIS.

Figura 7.23 - Conversão de dados de formato .ACCDB (*database*) para .SHP, na ferramenta FME Workbench

Fonte: a autora.

Após a importação dos arquivos .RVT e .SHP em ambiente GIS, o sistema do ArcGIS Pro permite unir ambos dados através da ferramenta *Join*, permitindo a visualização da variação de parâmetros de cada volumetria (**Figura 7.24**).

Figura 7.24 - Importação da volumetria do modelo BIM na plataforma ArcGIS Pro

Fonte: a autora.

- iii. **Formatos Proprietários:** A terceira forma de integração de dados é baseada na interoperabilidade através dos formatos proprietários de cada plataforma utilizada. Ou seja, as modelagens BIM serão exportadas no formato .RVT, próprio do Revit 2018, e a modelagem GIS se mantém no formato do ArcGIS Pro, .GDB. Esta opção segue a garantia de ambas as desenvolvedoras (Autodesk e Esri) na completa interoperabilidade entre suas plataformas.

Todavia, a princípio esta opção havia sido descartada, já que os primeiros testes de integração de dados foram realizados com modelos BIM formatados em volumes de massa, sem a diferenciação entre Categorias do tipo *Floors* e *Walls*. Neste primeiro teste, a plataforma ArcGIS Pro não reconheceu de forma integral as informações contidas em objetos do tipo volume de massa, inviabilizando a utilização de modelos BIM desenvolvidos a partir desta

ferramenta, e refutando a garantia de total interoperabilidade entre as plataformas Revit 2018 e ArcGIS Pro.

A segunda opção de modelagem BIM foi criar edificações que contivessem os principais dados construtivos, no quesito estrutura, e por isto foram desenvolvidas modelagens contendo dados de paredes e piso. Neste novo tipo de modelagem BIM, notou-se que, ao importar dados BIM na plataforma GIS, o ArcGIS Pro era capaz de reconhecer os parâmetros inseridos na Categoria *Floors*.

Assim, a Categoria *Floors* do BIM foi parametrizada com todas as informações relativas à edificação, de modo que a plataforma GIS fosse capaz de reconhecer e analisar os dados BIM (**Figura 7.25**).

Figura 7.25 - Uso de formatos proprietários para a interoperabilidade entre BIM e GIS

Fonte: a autora.

Ao fim da análise das três formas supracitadas para a interoperabilidade de dados BIM e GIS, foi dada preferência à integração através utilização apenas de formatos proprietários (iii), uma vez que a plataforma ArcGIS Pro apresenta boa integração de dados com o Revit e, para a quantidade baixa de dados, é uma forma rápida de integração, levando em consideração as ressalvas descritas no item iii das formas de

integração de dados. Todavia, vale sublinhar que a integração de dados GIS a partir de banco de dados (como descrito no item ii) também se mostra interessante para a formação de um modelo CIM, uma vez que permite uma maior flexibilidade na escolha de dados a serem exportados para o GIS e trata-se de um arquivo de menor tamanho, facilitando a análise quando trabalha-se com banco de dados grandes e complexos.

7.2.4 Etapa 04 – Análise de dados em ambiente CIM

Na última etapa do projeto analisaram-se os dados BIM e GIS de forma integrada, com o objetivo de criar um ambiente CIM, caracterizado pela união de dados topográficos, geográficos, volumetrias das construções e parametrizações (**Figura 7.26**). Dados relativos à produção de RSU advindos das modelagens BIM e GIS serão analisados em conjunto para obter rotas de coleta que atendam a demanda da área pré-definida.

Figura 7.26 - Visualização geral da integração de dados volumétricos BIM e GIS na plataforma ArcGIS Pro

Fonte: a autora.

Através da análise de dados do conjunto das edificações parametrizadas (tanto GIS como BIM), foi constatado que a área estudada gera 22.277,46 quilos de RSU por dia

(**Tabela 4**). A análise logística desenvolvida foi baseada nos dados de produção de RSU por dia.

Tabela 4 - Resumo da produção da RSU (Kg/dia) na área estudada

Produção de RSU (Kg/dia)		
GIS	GIS_CityEngine:	20,797.59
	TOTAL	20,797.59
BIM	Froben 01	280.40
	Foben 02	295.97
	Froben 03	241.45
	Baumman 01	241.45
	Baumman 02	194.72
	Baumman 03	225.88
	TOTAL	1,479.87
TOTAL GERAL:		22,277.46

Fonte: a autora.

Com dados BIM e GIS integrados, tornou-se possível analisar a produção de RSU na região a partir do conceito CIM. Os dados de produção de RSU foram utilizados para a análise de coleta de RSU da região. O fluxograma da **Figura 7.27** apresenta as etapas para atingir a análise de dados sobre coleta de resíduos na área delimitada.

Figura 7.27 - Fluxograma da Etapa de modelagem CIM

Fonte: a autora.

Como é possível observar na **Figura 7.27**, a primeira etapa da modelagem CIM é a inserção dos modelos BIM e GIS, já anteriormente importados, como foi descrito nos Capítulos 7.2.1 e 7.2.2. Assim, dados BIM e GIS foram integrados através da importação do arquivo BIM em formato .RVT para o ambiente GIS, em formato .GDB. O arquivo .RVT é inserido na plataforma GIS como uma nova camada de informação tridimensional, e junto com dados urbanos contido em GIS.

A única parametrização que falta para a análise de dados referentes à coleta de RSU diz respeito aos coletores, ou caminhões de coleta. É importante identificar quantos coletores atenderão a demanda apresentada na área delimitada, qual a capacidade de carga máxima de cada um deles e a localização do local de saída e chegada dos coletores.

Para identificar os coletores na modelagem CIM foram criados pontos georreferenciados, utilizando para tanto a ferramenta *Create Points* do ArcGIS Pro. Cada ponto criado identifica um coletor, e parâmetros de nome e capacidade máxima são atribuídos à cada um deles, como demonstra a **Figura 7.28**.

Figura 7.28 - Criação de coletores na modelagem CIM

Fonte: a autora.

Para garantir a coleta de todos os pontos de demanda, foram inicialmente criados 23 coletores, com capacidade máxima de 1,0 tonelada cada.

No que diz respeito às modelagens BIM e GIS, os dados volumétricos encontram-se na modelagem CIM devidamente georreferenciados e parametrizados. Porém, o sistema do ArcGIS Pro não aceita o formato de arquivo tridimensional apresentado para o uso de ferramentas de análise de dados. Todos os arquivos de formato tridimensional foram importados para o ArcGIS Pro com a representação volumétrica do tipo *Multipatch* (Figura 7.29). A desenvolvedora Esri (2019b) explicita que o recurso *Multipatch* é um objeto GIS que armazena uma coleção de trechos que, juntos, representam um objeto tridimensional.

Figura 7.29 - Destaque para a Feature Multipatch

OBJECTID	Shape	osm_id	building	height	uso_edif
7023	MultiPatch	520925325	yes	44.201	res_mediopd
3518	MultiPatch	520925441	yes	44.141	res_mediopd
3894	MultiPatch	520925564	yes	42.843	res_mediopd
7649	MultiPatch	520924597	yes	42.032	res_mediopd
2601	MultiPatch	520924697	yes	41.249	res_mediopd
5328	MultiPatch	520921359	yes	40.516	res_mediopd
162	MultiPatch	520925578	yes	40.351	res_mediopd
7170	MultiPatch	520924467	yes	40.245	res_mediopd
7561	MultiPatch	520925506	yes	40.001	res_mediopd

Fonte: a autora.

A adversidade encontrada neste tipo de representação é justamente para a leitura de dados. Para desenvolver uma análise de dados onde cada edificação irá representar um parâmetro num espaço georreferenciado é mandatório que cada volumetria seja representada por um ponto único geolocalizado, e não um conjunto de trechos. Assim, se faz necessário a transformação dos objetos da *Feature Multipatch* para a *Feature Points*.

A plataforma ArcGIS Pro fornece uma ferramenta chamada *Feature Vertices to Points* para realizar esta transformação de dados *Multipatch* para *Points*. Através da utilização desta ferramenta, para cada volumetria será criada uma quantidade de pontos representantes de cada vértice do objeto, gerando desta forma diversas duplicatas de um mesmo dado. Para eliminar as duplicatas foi desenvolvido um algoritmo em código Python (**Figura 7.30**) que reconhece dados duplicados e mantém apenas um ponto representativo de cada volumetria.

Figura 7.30 - Algoritmo para exclusão de dados duplicados

```

1 import arcpy
2
3 fc = r'C:\Users\Carol\Desktop\Carol\USP - Poli\Pesquisa-BIM\DEFESA\Simulacoes\CIM_02\ProjetoCIM_02\ProjetoCIM_02.gdb\Baumman03_Points'
4
5 selected_oid = []
6 osm_id_aux = ""
7
8 fc = arcpy.MakeFeatureLayer_management(fc, "Baumman03_Demanda")
9
10 with arcpy.da.SearchCursor(fc, ['OBJECTID_1', 'ObjectID']) as cur:
11     for i, row in enumerate(cur):
12         if not (str(row[1])) == osm_id_aux:
13             osm_id_aux = str(row[1])
14             selected_oid.append(str(row[0]))
15 where = 'OBJECTID_1 in ({})'.format(', '.join(selected_oid))
16 arcpy.SelectLayerByAttribute_management(fc, "NEW_SELECTION", where, 'INVERT')
17 arcpy.DeleteRows_management('Baumman03_Demanda')
18

```

Fonte: a autora.

A **Figura 7.31** apresenta o resultado do uso do algoritmo mostrado na **Figura 7.30**, onde as volumetrias modeladas possuem apenas um ponto georreferenciado para a representação de seus dados.

Figura 7.31 - Volumetrias representadas por um ponto único georreferenciado

Fonte: a autora.

Com esta transformação de formato de dados, o artefato apresenta volumetrias BIM e GIS no formato adequado para desenvolver a análise da coleta de RSU, através do emprego da ferramenta *Network Analysis* do próprio sistema do ArcGIS Pro. Neste

trabalho foram realizados dois tipos de análises de otimização referentes à logística que serão abordadas nos Capítulos 7.2.4.1 e 7.2.4.2: Maximizar carga de coleta e Definir rotas.

7.2.4.1 Maximizar carga de coleta

A ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* (ou Maximizar Carga de Coleta, em tradução livre) tem como principal função a alocação da demanda para cada *facility* definido, de modo a otimizar o uso total da carga permitida. Para o desenvolvimento da análise proposta, a demanda será representada pela produção de RSU de cada edificação, enquanto os *facilities* serão representados pelos pontos de coleta, ou seja, os coletores.

É importante ressaltar que esta ferramenta não tem como meta criar o traçado das rotas de coleta, apenas identificar os pontos de coleta mais favoráveis para o uso maximizado da capacidade de cada coletor. Isto pode causar uma inconsistência na forma de coleta, já que traz a possibilidade de um coletor ser responsável pela coleta de pontos muitos distantes um do outro.

Para definir os dados dos coletores como *facilities* dentro da ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* é preciso vincular os dados pertinentes aos coletores com o modelo *default* de *facilities* (**Figura 7.32**).

Figura 7.32 - Ferramenta para vincular dados de coletores com facilities

Fonte: ArcGIS Pro, Esri.

Os dados de capacidade máxima de coleta do caminhão serão vinculados com os dados de *Capacity* da ferramenta. Também foi determinado que o alcance máximo para cada *facility* será um raio de 10 quilômetros, além da obrigatoriedade da utilização de todos os 23 coletores para a logística de RSU na região. Os dados dos coletores que foram vinculados à propriedade de *facilities* é apresentada na **Tabela 5**.

Tabela 5 - Vinculação de dados de Coletores com *Facilities*

VINCULAÇÃO DE DADOS - FACILITIES		
Dados		Comentários
Facilities	Coletores	
Name	Name	O Nome identifica o Facility, portanto não deve ser modificado.
Facility Type	Required	A propriedade 'Required' identifica o Facility como obrigatório para a coleta.
Weight	0	Indica que o coletor tem peso 0, ou seja, não ocupa a capacidade do coletor.
Capacity	Capacidade	Conecta propriedade 'Capacity' com dados de Capacidade.
Search Tolerance	10000 meters	Tolerância de atendimento da demanda de até 10km de distância.

Fonte: a autora.

Os dados de demanda também sofreram o mesmo processo de vinculação de dados com o modelo *default* da propriedade *demand* (Figura 7.33).

Figura 7.33 - Ferramenta para vincular os dados de demanda

Fonte: ArcGIS Pro, Esri.

É importante nesta fase criar o vínculo dos dados de produção de RSU com a propriedade *Weight*, que garantirá à ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* a correta relação entre a capacidade máxima dos coletores (*Capacity*) com a produção

diária de RSU da demanda (*Weight*). Tanto os dados de modelagens BIM como os dados da modelagem GIS são vinculados na ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* (**Tabela 6**). Assim, dados de produção de RSU das duas modelagens são integrados, permitindo uma perspectiva geral da produção de resíduos na região determinada.

Tabela 6 - Vinculação de dados de Modelagens BIM/GIS com Demanda

VINCULAÇÃO DE DADOS - DEMAND		
Dados		Comentários
Demanda	Modelagens BIM / GIS	
Name	ObjectID	Ambas modelagens (BIM e GIS) têm o Name vinculado ao seu ObjectID.
Weight	prod_rsu	A propriedade 'Weight' foi vinculada à produção de RSU.
GroupName	GIS: Não há BIM: Nome da edificação	Indica o grupo ao qual um determinado facility irá atender. Os pavimentos das modelagens BIM devem ser atendidos pelo mesmo coletor.
Search Tolerance	10000 meters	Tolerância de atendimento da demanda de até 10km de distância.

Fonte: a autora.

Com todos os dados vinculados, a ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* foi capaz de identificar quais edificações serão atendidas por cada coletor de forma a maximizar sua carga, sendo que cada linha azul representa uma demanda atendida pelo coletor. A coluna *DemandWeight* explicita a quantidade (em quilos) utilizada da carga de cada caminhão, enquanto a coluna *DemandCount* demonstra quantas edificações serão atendidas por cada coletor (**Figura 7.34**).

Figura 7.34 - Análise Maximize Capacitated Coverage da plataforma ArcGIS Pro

Fonte: a autora.

Através da análise dos dados obtidos, foi constatado que todos os coletores apresentaram o uso de seu compartimento de carga superior à 97%, atendendo desta forma a premissa inicial de criar rotas para otimizar a capacidade de coleta de cada coletor. Todavia, como relatado anteriormente, a ferramenta não busca pontos de demanda próximos uns aos outros para criar rotas mais eficientes. O resumo dos dados de coleta visando maximizar a carga dos coletores através da ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* é detalhado no Apêndice B – Resumo de dados obtidos através da análise logística feita pela ferramenta *Maximize Capacitated Coverage* deste trabalho.

A partir dos dados para maximizar a carga dos coletores obtidos nesta etapa, foi necessário traçar as rotas para cada coletor, de forma a atender todos os pontos de demanda preestabelecidos. Para tanto, os dados obtidos através da análise *Maximize Capacitated Coverage* foram utilizados na ferramenta *Create Routes* para definição e traçado das rotas.

7.2.4.2 Definir rotas

A ferramenta *Create Routes* da plataforma ArcGIS Pro é utilizada para traçar o caminho mais curto entre pontos pré-determinados, chamados *Stops*. Os dados de demandas obtidos na análise anterior foram vinculados à ferramenta *Create Routes* como *Stops*. Assim, rotas foram traçadas para cada coletor, identificando os trajetos necessários para a utilização total de suas cargas. A **Tabela 7** apresenta os dados de demanda, obtidos na análise Maximize Capacitated Coverage, vinculados com as propriedades de Stops, da análise Create Routes.

Tabela 7 - Vinculação de dados de Demanda com Stops

VINCULAÇÃO DE DADOS - STOPS		
Dados		Comentários
Stops	Demanda	
Name	ObjectID	Nos Stops, cada ponto de demanda será reconhecido por seu número de ObjectID
RouteName	FacilityID	Cada coletor é reconhecido por um FacilityID. As rotas são conectadas com esta informação para definir o coletor responsável por cada Stop
Sequence	X	Esta propriedade define a sequência de coleta. Como se buscou o menor caminho, não foi definida uma sequência obrigatória
Attr_TruckTime	0.8	Propriedade que define quanto tempo (minutos) o coletor dispense para cada Stop. Neste caso, considerou-se um tempo médio de 0.8 minutos
prod_rsu	AllocatedWeight	Dados de peso alocado de demanda foram conectados com produção de RSU

Fonte: a autora.

Após vincular os dados obtidos da análise *Maximize Capacitated Coverage* com a ferramenta *Create Routes*, foi observado que existe uma limitação na análise de dados do sistema ArcGIS Pro, que não permite que mais de 150 pontos sejam conectados na mesma rota.

Por conta desta limitação apresentada pelo sistema, os 23 coletores anteriormente dimensionados não seriam capazes de atender a demanda sem ultrapassar a quantidade

máxima de 150 pontos de coleta por rota, ocasionando em um mal funcionamento da ferramenta.

Assim, foi necessário criar um algoritmo com a finalidade de identificar rotas com mais de 150 pontos e enviar os pontos de demanda adicionais para o trajeto de um coletor com espaço de carga vazio. Desta forma, haveria uma redistribuição de demanda por coletores. A **Figura 7.35** apresenta o algoritmo desenvolvido para tal função.

Figura 7.35 - Algoritmo de reconhecimento máximo de demanda

```
#Selecionar todos os stops com sequencia > 150#
arcpy.SelectLayerByAttribute_management('CIM Network Analysis\Route\Stops', 'NEW_SELECTION', 'Sequence > 150', 'NON_INVERT')

#Selecionar todos os facilities com demandCount menor que 149 (<149) e nao candidatos#
arcpy.SelectLayerByAttribute_management('CIM Network Analysis\Location-Allocation\Facilities', 'NEW_SELECTION', 'DemandCount < 149 and FacilityType <> 0', 'NON_INVERT')

#Com base nos stops e facilities selecionados, o algoritmo faz o ajuste para que todas sequencias cheguem ate ao maximo de 149
fieldsStops = ['ObjectID', 'RouteName', 'Sequence', 'prod_RSU']
fcStops = 'CIM Network Analysis\Route\Stops'
fcFacilities = 'CIM Network Analysis\Location-Allocation\Facilities'
cursorStops = arcpy.da.UpdateCursor(fcStops, fieldsStops)
for rowStops in cursorStops :
    allocated = False
    cursorFacilities = arcpy.UpdateCursor(fcFacilities)
    for rowFacilities in cursorFacilities :
        if ((rowStops[3] <= (1000 - rowFacilities.getValue('DemandWeight'))) and (not allocated) and (int(rowFacilities.getValue('DemandCount')) < 149)) :
            rowFacilities.setValue('DemandCount', (rowFacilities.getValue('DemandCount')+1))
            rowStops[2] = rowFacilities.getValue('DemandCount')+1
            rowStops[1] = rowFacilities.getValue('ObjectID')
            rowFacilities.setValue('DemandWeight', rowFacilities.getValue('DemandWeight')+rowStops[3])
            cursorStops.updateRow(rowStops)
            cursorFacilities.updateRow(rowFacilities)
            allocated = True

#Recalcular dados dos facilities que possuam mais de 149 demandCount e candidatos
fcStops = 'CIM Network Analysis\Route\Stops'
fcFacilities = 'CIM Network Analysis\Location-Allocation\Facilities'
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(fcFacilities, 'NEW_SELECTION', 'DemandCount <= 149 and FacilityType <> 0', 'INVERT')
cursorFacilities = arcpy.UpdateCursor(fcFacilities)
arcpy.SelectLayerByAttribute_management(fcStops, 'NEW_SELECTION')
for rowFacilities in cursorFacilities :
    weightSum = 0.0
    arcpy.SelectLayerByAttribute_management(fcStops, 'NEW_SELECTION', 'RouteName = \'' + str(rowFacilities.getValue('ObjectID')) + '\')
    demandCountFc = int(arcpy.GetCount_management(fcStops)[0])-1
    rowFacilities.setValue('DemandCount', demandCountFc)
    cursorStops = arcpy.UpdateCursor(fcStops)
    for rowStops in cursorStops :
        if not (rowStops.isNull('prod_RSU')) :
            weightSum = float(rowStops.getValue('prod_RSU'))+ weightSum
    rowFacilities.setValue('DemandWeight', weightSum)
    cursorFacilities.updateRow(rowFacilities)
```

Fonte: a autora.

Com a utilização do algoritmo desenvolvido, cada rota representada por um coletor passou a apresentar, no máximo, 150 pontos de coleta, além de coletar no máximo 1,0 tonelada por percurso, o que proporcionou o funcionamento correto da ferramenta *Create Routes*. A tabela apresentada no Apêndice C – Dados obtidos através do uso do algoritmo de redistribuição de demanda demonstra os dados obtidos para a redistribuição de demanda a partir do algoritmo desenvolvido (**Figura 7.35**).

Após a redistribuição dos dados, a ferramenta *Create Routes* foi utilizada para determinar as rotas traçadas por cada coletor, levando em consideração o menor trajeto para

Da mesma forma, todos os coletores possuem documentação da rota a ser traçada, tempo destinado para a coleta de toda a demanda e distância percorrida. A **Tabela 8** fornece o resumo dos dados obtidos para todos os coletores.

Tabela 8 - Resumo dos dados obtidos através da análise Create Routes

RESUMO - CREATE ROUTES						
OBJECTID	Formato	Name	Percurso total		RSU coletados (kg)	Tempo total (min)
			Milhas	Quilômetros		
1	Polyline M	C01	13.249432	21.322937	999.46	62.115516
2	Polyline M	C02	5.823342	9.371778	999.79	23.774025
3	Polyline M	C03	22.271573	35.842694	999.23	83.648464
4	Polyline M	C04	57.365692	92.321316	999.85	259.442863
5	Polyline M	C05	68.149527	109.676252	963.46	298.683874
6	Polyline M	C06	17.363565	27.944005	999.25	78.54056
7	Polyline M	C07	59.225774	95.314835	991.86	283.961392
8	Polyline M	C08	62.462979	100.524621	719.38	272.88197
9	Polyline M	C09	52.0254	83.726934	865.47	229.612248
10	Polyline M	C10	16.424474	26.432682	1000.00	75.174124
11	Polyline M	C11	44.461152	71.553431	999.83	185.813692
12	Polyline M	C12	13.349767	21.48441	999.88	59.849883
13	Polyline M	C13	20.170517	32.461365	999.95	90.445114
14	Polyline M	C14	20.807672	33.48677	999.21	91.572688
15	Polyline M	C15	19.228339	30.945073	999.63	81.930539
16	Polyline M	C16	45.654338	73.473682	999.40	188.385114
17	Polyline M	C17	5.00473	8.054348	998.54	18.607134
18	Polyline M	C18	27.488963	44.239286	932.00	104.840309
19	Polyline M	C19	4.577745	7.367181	995.10	18.746564
20	Polyline M	C20	3.406622	5.482437	946.55	12.494794
21	Polyline M	C21	4.868683	7.835402	969.61	18.677604
22	Polyline M	C22	64.024441	103.037556	900.37	233.194257
23	Polyline M	C23	37.933965	61.048921	999.64	170.179213

Fonte: a autora.

A análise *Create Routes* mostrou-se capaz de analisar, conjuntamente, dados BIM e GIS para obter um estudo sobre rotas de coleta de RSU. A possibilidade de unir dados paramétricos, geométricos (tanto do BIM como do GIS) e geográficos (GIS) e, a partir de então, otimizar as rotas de acordo com a capacidade de carga, identificou uma capacidade de utilizar modelagens BIM para fornecer informações que auxiliem no planejamento urbano.

8 CONCLUSÕES

Por fim, este capítulo busca retratar os resultados obtidos com o decorrer da pesquisa, seguindo as diretrizes estabelecidas pela metodologia *Design Science Research*, que direciona as conclusões em três etapas: Avaliação do artefato, Explicitação das aprendizagens e Resultados e discussões. Os próximos subcapítulos irão tratar sobre as três etapas de conclusão propostas.

8.1 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

A etapa de avaliação do artefato é dedicada para a medição do comportamento do artefato perante a solução do problema inicialmente proposta (DRESCH; LACERDA, 2016).

Para realizar a avaliação do artefato, Hevner, March e Park (2004, p.86, apud LACERDA et al., 2013, p. 756) propõe cinco formas de avaliação de acordo com o método proposto para a elaboração do artefato (**Figura 8.1**).

Figura 8.1 - Métodos para avaliação do artefato

Forma de Avaliação	Métodos propostos
Observacional	Estudo de Caso: Estudar o artefato existente, ou não, em profundidade no ambiente de negócios. Estudo de Campo: Monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos. Esses estudos podem, inclusive, fornecer uma avaliação mais ampla do funcionamento dos artefatos configurando, dessa forma, um método misto de condução da pesquisa.
Analítico	Análise Estatística: Examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas. Análise da Arquitetura: Estudar o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral. Otimização: Demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou então demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato. Análise Dinâmica: Estudar o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas (por exemplo, desempenho).
Experimental	Experimento Controlado: Estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade). Simulação: Executar o artefato com dados artificiais.
Teste	Teste Funcional (<i>Black Box</i>): Executar as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos. Teste Estrutural (<i>White Box</i>): Realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato (por exemplo, caminhos para a execução).
Descritivo	Argumento informado: Utilizar a informação das bases de conhecimento (por exemplo, das pesquisas relevantes) para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato. Cenários: Construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar sua utilidade.

Fonte: Hevner, March e Park (2004, p.86, apud LACERDA et al., 2013, p. 756).

Como mencionado anteriormente e a partir dos métodos supracitados, é factível afirmar que, para a presente pesquisa, a avaliação utilizada é do tipo Experimental, uma vez que se trata de um artefato baseado em uma simulação computacional desenvolvida a partir de dados artificiais. É importante reiterar que a forma de análise Experimental se baseia no estudo do artefato dentro de um ambiente controlado, que permita observar suas características.

Ainda de acordo com Lacerda et al. (2013), na etapa de avaliação do artefato deve-se evidenciar os resultados do artefato em relação às métricas antes estabelecidas na etapa de projeto do artefato, além de apresentar o que funcionou como previsto e os ajustes necessários para o funcionamento do artefato.

De acordo com a etapa de Projeto do Artefato estabelecida nesta pesquisa, o artefato em questão trata-se de uma simulação computacional baseada no conceito CIM, desenvolvida a partir da integração das modelagens BIM e GIS, para a criação de um ambiente urbano virtual capaz de otimizar a logística de coleta de RSU em determinada região.

Como o esperado, foi possível unir dados advindos de modelagem BIM com dados do sistema GIS, baseados no ideal CIM. Através da integração de dados BIM e GIS, o ambiente simulado foi capaz de reconhecer dados individualizados por edificação de produção de RSU e inseri-los no meio urbano (criado em plataforma GIS). Ambos tipos de dados foram analisados em conjunto para obter novas soluções para a logística de coleta de RSU na região pré-estabelecida.

Todavia, houve algumas modificações não previstas durante o percurso de desenvolvimento do artefato. Assim, foram necessários alguns ajustes durante a concepção do modelo para que fosse possível alcançar o funcionamento de acordo com as diretrizes descritas ainda na fase de Projeto do Artefato. A seguir, são descritos os ajustes realizados no projeto do artefato.

- i. A princípio, o artefato iria trabalhar em um ambiente de interoperabilidade garantida, através de plataformas BIM e GIS fornecidas pelo mesmo desenvolvedor. Como notou-se alguns problemas de interoperabilidade que impediam a perfeita integração de dados para o desenvolvimento do sistema, optou-se pela modificação de plataforma GIS a ser utilizada. Por fim, o artefato foi desenvolvido a partir da integração das plataformas Revit (BIM), da Autodesk, e ArcGIS Pro (GIS), da Esri.
- ii. Foi realizado um estudo preliminar para a utilização dos padrões abertos IFC e CityGML para a integração de dados BIM e GIS. Contudo, notou-se que a integração de padrões abertos incluía uma perda de dados significativa, além de ser tratar de uma solução mais complexa, devido à necessidade de um conhecimento mais denso sobre a semântica dos padrões abertos. Desta forma, optou-se por não utilizar os padrões IFC e CityGML e buscar plataforma GIS que fosse capaz de importar modelo BIM sem a perda de dados.
- iii. A utilização de banco de dados como forma de enviar informações de um modelo a outro mostrou-se pertinente, uma vez que não há perda de dados, além de ser um formato que plataformas de modelagem normalmente compreendem. Todavia, a interoperabilidade entre as plataformas Revit e ArcGIS Pro mostrou-se eficiente, uma vez que dados não foram perdidos ao

- importar modelos BIM em formato .RVT diretamente para o ambiente GIS. Assim, apesar deste trabalho fazer uso do arquivo em formato .RVT para a integração com o sistema GIS, ainda assim o uso de banco de dados para a integração de dados paramétricos é um caminho interessante a ser percorrido para a integração BIM e GIS quando não existe uma perfeita interoperabilidade entre os sistemas.
- iv. Uma das principais exigências para a escolha da plataforma GIS a ser utilizada era a capacidade do *software* gerar modelagens tridimensionais do meio urbano através de dados abertos. O sistema escolhido, ArcGIS Pro, não é capaz de gerar estes modelos, mas tem a capacidade de reconhecê-los e importar para o sistema como uma camada de informação tridimensional. Assim, foi necessário utilizar uma outra plataforma chamada City Engine, também da desenvolvedora Esri, que tem a capacidade de gerar volumetrias do meio urbano através de informações extraídas do OSM.
 - v. A análise da coleta de RSU deu-se por otimização da carga dos coletores, mas não foi capaz de gerar otimização nas rotas traçadas por eles, já que a plataforma ArcGIS Pro não era capaz de criar rotas obedecendo duas regras ao mesmo tempo: (i) maximização de carga e (ii) menor percurso. Seria necessário utilizar um novo algoritmo para solucionar este problema.

8.2 EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS

A partir do desenvolvimento do artefato proposto, constatou-se, primeiramente, que a integração de sistemas BIM e GIS não é trivial. A interoperabilidade entre estes dois tipos de informações mostrou-se essencial para o sucesso de uma simulação baseada no conceito CIM.

Inclusive, foi possível observar que o fato de utilizar plataformas desenvolvidas pela mesma desenvolvedora não garante perfeita interoperabilidade entre os sistemas. Tal verificação foi feita nesta pesquisa ao procurar integrar dados do Revit e do Infracore,

ambos da desenvolvedora Autodesk. Neste caso, foi constatado perda de dados paramétricos ao importar o arquivo .RVT para o Infracore.

Também é interessante destacar a importância da utilização de modelagens BIM para a inclusão de dados numa modelagem urbana. Como apontado no Capítulo 5.2.2, o BIM tem a capacidade de gerenciar a informação de todo ciclo de vida de um empreendimento, o que torna os modelos BIM excelentes fontes constantes de dados das construções. Tais dados, ao serem incorporados em um ambiente simulado urbano, e trabalhando em conjunto, são ferramentas poderosas para compreender como as construções se comportam dentro do ambiente urbano, o inter-relacionamento entre unidades construtivas e a contribuição de cada empreendimento dentro dos subsistemas urbanos.

Neste trabalho, o objetivo principal foi propor um método de simulação computacional baseada no conceito *City Information Modeling* para auxiliar na visualização de um problema urbano: o controle do sistema logístico de coleta de RSU. O desenvolvimento do artefato proposto permitiu constatar a diferença entre a análise de dados de produção de RSU por edificação e análise de produção por média local (dados obtidos da Abrelpe, 2016). É perceptível que, ao parametrizar cada edificação com a quantidade de habitantes por unidade habitacional, o modelo BIM fornece com maior precisão a produção de RSU por edificação.

Contudo, devido à limitação da própria plataforma ArcGIS Pro, não foi possível criar uma análise logística dos dados BIM e GIS que tomassem em consideração tanto a carga máxima de cada coletor como rotas que traçassem as menores distâncias. Esta dificuldade encontrada inviabilizou o estudo otimizado da logística na coleta de RSU da região estabelecida.

8.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através desta pesquisa buscou-se desenvolver uma modelagem computacional baseada no conceito de *City Information Modeling* para simular a logística da coleta de RSU numa

determinada região urbana, utilizando para tanto, dados individualizados de edificações modeladas em plataforma BIM.

A metodologia *Design Science Research* foi aplicada nesta pesquisa com o propósito de desenvolver como artefato um método para a criação de um ambiente simulado CIM. O objetivo principal com o desenvolvimento do artefato foi tornar possível a união de informações pertinentes à duas esferas do conhecimento: Engenharia Urbana e Engenharia de Construção Civil, para assim apresentar uma nova forma de visualização da produção de RSU num determinado recorte urbano, através da simulação do ambiente urbano.

O artefato foi desenvolvido através da evolução de três principais vertentes de pesquisa: integração IFC e CityGML, plataformas desenvolvidas pela mesma desenvolvedora e plataformas de diferentes desenvolvedoras.

No que diz respeito à integração de padrões abertos conectados ao BIM e ao GIS (IFC e CityGML) houve grande dificuldade na integração devido ao volume de dados e na escolha destes, de forma que notou-se uma perda razoável de dados importantes de ambos os lados para garantir a interoperabilidade BIM e GIS através desta forma. Por esta razão, este caminho foi descontinuado na pesquisa.

A priori, optou-se por utilizar plataformas BIM e GIS da mesma desenvolvedora, já que a empresa que fornece as plataformas garante perfeita interoperabilidade entre seus sistemas. Assim, a primeira escolha foi utilizar as plataformas Revit e Infraworks, da desenvolvedora Autodesk, para integrar dados da cidade e dados da edificação. Contudo, foi identificado que dados eram perdidos ao enviar modelos do Revit para o Infraworks, inviabilizando a utilização do Infraworks para esta pesquisa.

Por último, a integração foi dada através da interoperabilidade de dados advindos de duas plataformas de desenvolvedoras distintas: o Revit, da Autodesk, e o ArcGIS Pro, da Esri. Estas plataformas tiveram um retorno de resultados melhor, por não haver perda de informação ao transportar modelos BIM para o ambiente GIS.

Com o artefato em estado funcional foi possível simular rotas de coleta de RSU em uma determinada região a partir de dados fornecidos por elementos construtivos

parametrizados em ambiente BIM, obtendo desta forma uma simulação com dados mais precisos da contribuição de produção de RSU de cada residência. Também se tornaram viáveis modificações de parâmetros como densidade habitacional de cada edificação, taxa de produção de RSU e volume de carga de cada caminhão coletor de acordo com a realidade mutável da região tornando a fase de planejamento mais precisa e com dados mais fidedignos.

Para o desenvolvimento do artefato, foi necessário a união de dados parametrizados em modelagens BIM e GIS. Para isso, fez-se uso das plataformas Revit, da desenvolvedora Autodesk, e City Engine e ArcGIS Pro, da Esri. A integração destas plataformas de modelagem permitiu a integração dos dados urbanos e construtivos, que culminaram na criação de um ambiente simulado CIM.

A partir da simulação em seu estado funcional foi possível constatar os pontos positivos do artefato:

- i. Dados construtivos e dados urbanos foram integrados na plataforma GIS e a leitura em conjunto dos dados realizou-se;
- ii. Os parâmetros BIM inseridos em ambiente GIS foram reconhecidos e a plataforma GIS ArcGIS Pro foi capaz de usá-los para a composição de produção de RSU da região;
- iii. O artefato foi capaz de otimizar rotas de coleta a partir da união de dados BIM e GIS;
- iv. As rotas geradas tinham como princípio a otimização da carga dos coletores;
- v. No desenvolvimento deste artefato foi possível a utilização de modelos BIM de forma integral (volumetria e parâmetros), uma vez que a interoperabilidade entre os sistemas Revit 2018 e ArcGIS Pro mostrou-se suficiente para a simulação. No entanto, é importante ressaltar que em casos onde não é possível enviar dados tridimensionais em ambiente GIS, a integração de parâmetros BIM através de banco de dados também se mostra válida para a análise global do ambiente urbano.

Em contrapartida, também foram notados alguns pontos negativos do artefato proposto:

- i. Já que a plataforma ArcGIS Pro não era capaz de gerar objetos tridimensionais do meio urbano, foi necessário adicionar mais uma ferramenta tecnológica para o desenvolvimento do artefato, o CityEngine, apenas para a etapa de modelagem de elementos tridimensionais. Este fato implica numa dificuldade maior em criar modelos urbanos simulados, já que a utilização de muitas ferramentas dificulta o processo de integração de dados;
- ii. É interessante importar modelos BIM no GIS com o mínimo de informações possíveis, para tornar a simulação final mais leve no sentido de quantidade de dados, o que facilita o processamento de dados na plataforma GIS, mas limita o uso de modelagens BIM no LoD1;

O artefato não foi capaz de gerar rotas que otimizassem tanto a carga dos coletores quanto os trajetos mais curtos. Para tanto, seria necessário criar um algoritmo que abrangesse estes dois parâmetros para uma simulação logística mais completa. Por fim, através da aplicação da integração de dados BIM e GIS, a modelagem CIM apresenta-se como uma solução viável para o planejamento e controle do meio urbano.

Da mesma forma que este trabalho utilizou a solução para estudar a coleta de RSU, a modelagem CIM também pode ser aplicada para outros subsistemas urbanos, como energia, esgoto, controle de drenagem, dentre outros. Com a aplicação de tecnologias atuais torna-se possível trabalhar com grandes bancos de dados que, inclusive, permita a intersecção de informações sobre áreas distintas da Engenharia Urbana, gerando um modelo CIM completo com a capacidade de ter uma visão geral sobre o funcionamento da cidade.

REFERÊNCIAS⁴

- ABRELPE (Brasil). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. [s.i.]: Abrelpe, 2017. 51 p. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 15 dez. 2018.
- ABRELPE (Brasil). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. [s.i.]: Abrelpe, 2018. 74 p. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- AKINCI, Burcu et al. CAD and GIS Interoperability through Semantic Web Services. In: KARIMI, Hassan A.; AKINCI, Burcu. **CAD and GIS Integration**. Florida: Taylor & Francis Group, 2009. Cap. 9. p. 199-220.
- ALMEIDA, F.; ANDRADE, M. A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana. **VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM**, 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- AMORIM, A. L. Cidades Inteligentes e City Information Modeling Smart Cities and City Information Modeling. **SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics 9-11**, p. 481–488. Argentina, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15965-1:2011**: Sistema de classificação da informação da construção. 1 ed. Rio de Janeiro, 2011. 6p.
- AUTODESK HELP (United States of America). **About Revit**. 2019. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-GetStarted/files/GUID-D8835F8E-1330-4DBC-8A55-AF5941056C58-htm.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- BEIRÃO, José Nuno. **CityMaker: Designing Grammars for Urban Design**. Lisboa: Architecture and the Built Environment, 2012. 276 p.
- BERTEI, R. M. et al. Desenvolvimento de um Sistema de Informação para o Gerenciamento de Redes de Infraestrutura Urbana. **RAIMED - Revista de Administração IMED**, v. 4, n. 3, p. 300–313, 2014. Acesso em: 12 jun 2019.

⁴ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

BIM FORUM (United States). **Level of Development (LoD): Specification Part I & Commentary**. [s.i.]: Bim Forum, 2019. 256 p. Disponível em: <<https://bimforum.org/loD/>>. Acesso em: 02 maio 2019.

BRANDERSKY, Radoslav; O'NEILL, Cheryl. **BIM and Smart Cities**. Silver Spring, Maryland: Bim Forum, 2014. 3 p. Disponível em: <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2014/04/14111_BIMForum_3pg.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

BRASIL. Assembleia Legislativa. Constituição (2018). Decreto nº 9377, de 17 de maio de 2018. **Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling**. [S.l.], 17 maio 2018. Seção 1.

BRASIL. Comitê Estratégico do BIM. Secretaria Geral (Org.). **Estratégia BIM BR: Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM**. Brasília: MDIC, 2018. 33p.

BRASIL. José Henrique Penido Monteiro. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (Org.). **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. [s.i.]: Ibam, 2001. 200 p. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/index.php>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos sólidos**. 2011. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao >. Acesso em: 05 jun. 2019.

CAVALCANTI, A.; DE SOUZA, F. O Uso do CIM e a Difusão das Ideias no Campo das Políticas Públicas no Setor do Gerenciamento das Cidades. In: **Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção**, 7., 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras - Volume 1: Fundamentos BIM**. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://cbic.org.br/publicacoes/>>.

CHAPPELL, Eric. **Autodesk Roadway Design for Infraworks 360 Essentials**. 2. ed. Indianapolis, Indiana - United States: John Wiley & Sons, 2015. 97 p.

CHECCUCCI, Érica de Sousa; PEREIRA, Ana Paula Carvalho; AMORIM, Arivaldo Leão de. DIFUSÃO E APROPRIAÇÃO DO PARADIGMA BIM NO BRASIL. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [s.l.], v. 1, n. 8, p.19-39, 17 set. 2013. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v1i8.232>. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/62201/65029>>. Acesso em: 12 out. 2019.

COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. Modelagem de informações para construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil. In: **Workshop Brasileiro - Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios**, 8., São Paulo, 2008.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. **III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil**. Porto Alegre, RS, 2007. Disponível em: <<http://noriegec.cpgec.ufrgs.br/tic2007/index.html>>

CUNHA, Valeriana. **Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e Aplicação de Modelo Não-Linear de Programação por Metas**. 2001. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2001. Cap. 5. Disponível em: <<https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

DANTAS, H S; SOUSA, J M M S; MELO, H C. The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s.l.], v. 225, n. 1, p.1-8, 24 fev. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012074>.

DANTAS FILHO, João Bosco Pinheiro; BARROS NETO, José de Paula; ANGELIM, Bruno Maciel. Mapeamento do fluxo de valor de processo de construção virtual baseado em BIM. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 17, n. 4, p.343-358, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400201>.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco. **Design Science e Design Science Research**: São Leopoldo, Rs: Gmap, [2016]. 72 slides, color. Disponível em: <<http://www.gmap.unisinos.br/recursos-didaticos/Design-Science-Research-Aline-Dresch.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019. [13]

ESRI (Org.). **About ArcGIS Pro**. 2019a. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/get-started/get-started.htm>>. Acesso em: 10 out. 2019.

ESRI (Org.). **Multipatches**: What are multipatch features?. 2019b. Disponível em: <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/multipatches.htm>>. Acesso em: 11 out. 2019.

ESRI (Org.). **What is GIS?** 2019c. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

EASTMAN, Chuck et al. **BIM Handbook**: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 626 p.

FERREIRA, Carlos Eugenio de Carvalho; CASTIÑEIRAS, Luciane Lestido. Transição Demográfica e Demanda Por Moradias: projeção de domicílios do Estado de São Paulo até 2050. **SP Demográfico**: Resenha de Estatísticas Vitais do Estado de São Paulo, São Paulo, v. 1, n. 18, p.1-14, jan. 2018.

FLOROS, G.; PISPIDIKIS, I.; DIMOPOULOU, E. Investigating integration capabilities between IFC and CityGML LOD3 for 3D city modelling. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLII-4/W7, 12th 3D Geoinfo Conference. Australia, 2017.

FOSU, Richelle et al. Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS): a literature review and future needs. In: CIB W78 CONFERENCE, 32., 2015, Eindhoven, The Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: Proceedings, 2015. p. 196 - 204. Disponível em: <<http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2015-paper-020.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2019.

GONZÁLEZ, Gustavo Andrés Araque; LEAL, José Eugenio. Planejamento das Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais por Meio de Um Sistema de

Informações Geográficas para Transporte: Aplicação do Algoritmo do Problema de Roteirização dos Veículos com Janela de Tempo. **Anais do XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.1-11, ago. 2016. Editora Edgard Blücher. <http://dx.doi.org/10.5151/marine-spolm2015-140544>.

GRÖGER, G; PLÜMER, L. CityGML – Interoperable semantic 3D city models. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 71, p. 12-33, 2012.

GRZYBEK, H., XU, S., GULLIVER, S., FILLINGHAM, V. Considering the feasibility of Semantic Model Design in the built environment. *Buildings*, Nº 4, pp. 849879, 2014.

HUXHOLD, William E.; FOWLER, Eric M.; PARR, Brian (Org.). **ArcGIS and the Digital City: A hands-on approach for local government**. California: Esri, 2004. 305 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos: Relatório de Pesquisa**. Brasília: IPEA, 2012.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16739-1: 2018 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries**, 2018.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: Desafios da Sustentabilidade. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 25, n. 71, p.135-158, abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142011000100010>. Acesso em: 10 out. 2019.

JOHN FRANCIS TORTI (Estados Unidos) (Org.). **Town Information Modeling: Our patented Town Information Modeling® (TIM®) process unites 3-D visualization and robust data**. 2019. Disponível em: <<https://tortigallas.com/expertise/town-information-modeling>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

KASSEM, Mohamad; AMORIM, Sergio R Leusin de. **BIM: Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. Brasília: Diálogos Setoriais, 2015. 162 p. Disponível em: <sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos>. Acesso em: 12 nov. 2019.

KYMMELL, Willem. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects With 4D CAD and Simulations**. [s.i.]: The Mcgraw-hill, 2008.

LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.741-761, 26 nov. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2013005000014>.

LIAU, Yick Hong; LIN, Yu-cheng. Application of Civil Information Modeling for Constructability Review for Highway Projects. **Proceedings of the 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (isarc)**, Bei Jing, China, v. 4, n. 1, p.102-106, 1 jul. 2017. Tribun EU, s.r.o., Brno. <http://dx.doi.org/10.22260/isarc2017/0057>. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/39b5/bbe260ccbc9b522206fd33f9d11b720747a6.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

LIMA, Mariana Quezado Costa. Limites e Possibilidades do City Information Modeling (CIM) em Planejamento Urbano. In: ENANPARQ - Encontro Da Associação Nacional De Pesquisa E Pós-Graduação Em Arquitetura E Urbanismo, 4., 2016, Porto Alegre - RS. **Anais...** Porto Alegre - RS: Enanparq, 2016. p. 1 - 16. Disponível em: <<https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-4/SESSAO%2014/>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

LIMA, Renato da Silva; LIMA, Josiane Palma; SILVA, Thiago Vitali de Vito. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal of Transport Literature**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.180-196, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s2238-10312012000200010>.

MACIEL, Alex Roda. A influência do processo BIM no domínio de estruturas de concreto. **Concreto & Construções**, [s.i.], v. 1, n. 84, p.69-74, out. 2016. Disponível em: <http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/revista-interna_84.php>. Acesso em: 02 dez. 2019.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 251-266, dez. 1995. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](http://dx.doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2).

NAGEL, Claus; KOLBE, Thomas. **Conversion of IFC to CityGML**. Pariss: Ogc 3dim Wg, 2007. 19 slides, color. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266298548_Conversion_of_IFC_to_CityGML>. Acesso em: 16 abr. 2019.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (United States of America) (Org.). **National Building Information Modeling Standard: Version 1-part 1 Overview, Principles, and Methodologies**. [s.i.]: National Institute of Building Sciences, 2007. Disponível em: <<https://www.nationalbimstandard.org/>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

O'BRIEN, William J. et al. Civil Integrated Management (CIM) for Departments of Transportation, Volume 1: Guidebook. **Civil Integrated Management (CIM) for Departments of Transportation, Volume 1: Guidebook**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.4-5, 2 nov. 2016. Transportation Research Board. <http://dx.doi.org/10.17226/23697>.

Open Street Maps. **Learn OSM**: Aprenda OSM Passo a Passo. Aprenda OSM Passo a Passo. 2015. Disponível em: <<https://learnosm.org/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

OYEGOKE, Adekunle. The constructive research approach in project management research. **International Journal of Managing Projects in Business**, [s.l.], v. 4, n. 4, p.573-595, setembro 2011. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/17538371111164029>.

PARKER, H. Dennison. The Unique Qualities of a Geographic Information System: A Commentary. **Hotogrammetry And Remote Sensing**. Dallas, Tx, United States, p. 1547-1549. nov. 1988. Disponível em: <<https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1988journal/>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

RODRIGUES, Diogo Duarte. Design Science Research como caminho metodológico para disciplinas e projetos de Design da Informação. **Infodesign**: Revista Brasileira de Design da Informação, São Paulo, v. 15, n. 1, p.111-124, maio 2018.

RODRIGUES, W.; FILHO, L. N. M.; PEREIRA, R. S. Análise dos Determinantes dos Custos de Resíduos Sólidos Urbanos nas Capitais Estaduais Brasileiras. **Brazilian Journal of Urban Management**. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/urbe/2015nahead/2175-3369-urbe-2175-3369008001AO02.pdf>>.

SÁNCHEZ-LOZANO, Juan M. et al. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 24, p.544-556, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>.

SANTANA, Sheyla Aguilar de. **Geoprocessamento na Modelagem Parametrizada da Paisagem Territorial**: Aplicações da Geovisualização na Simulação da paisagem urbana. 2014. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Núcleo de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-9KPHUK>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

SCHEIDEGGER, Emerson; CARNEIRO, Teresa Cristina Janes; ARAÚJO, Claudia Affonso Silva. Impactos do sistema de informação geográfica na administração pública municipal. **Revista Gestão & Tecnologia**, Pedro Leopoldo, Minas Gerais, v. 1, n. 13, p.03-21, maio 2019. Disponível em: <<http://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/442/438>>. Acesso em: 17 fev. 2020.

SERRA, Z. P. F. E. BIM e a Gestão Integrada De Territórios Urbanos Um Estudo Sobre O Planejamento Urbano Integrado E Sustentável Na Cidade De Campos Dos Goytacazes - RJ. **VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM**, 2015.

SHS CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA LTDA. (Brasil). Prefeitura Municipal de Sorocaba (Org.). **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Sorocaba**. São Carlos, SP: [s.i.], 2014. 238 p. Disponível em: <www.sorocaba.sp.gov.br/anexos>. Acesso em: 07 jun. 2019.

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2016**. Brasília: Ministério das Cidades, 2018.

STOJANOVSKI, Todor. City Information Modeling (CIM) and Urbanism: Blocks, Connections, Territories, People and Situations. In: Symposium on Simulation for

Architecture and Urban Design, 4., 2013, San Diego, EUA. **Proceedings...** . [s.i.]: Anais, 2013. p. 111 - 118. Disponível em: <<http://www.simaud.org/2013/program.php>>. Acesso em: 18 ago. 2019.

THOMPSON, Emine Mine et al. Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors. **Urban Planning**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.79-94, 29 mar. 2016. Cogitatio. <http://dx.doi.org/10.17645/up.v1i1.556>.

TOBIN, J. Proto-Building: To BIM is to Build. AIA, mai. 2008. Disponível em: <<https://static1.squarespace.com/static/5af254d97e3c3aa74fe65385/t/5b3cb1458a922db5a5332cf7/1530704197850>> Acesso em: 15 set. 2019.

VILHENA, André et al (Org.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo, Sp: Cempre, 2018. 316 p. Disponível em: <cempre.org.br/upload>. Acesso em: 08 jun. 2019.

XU, Xun et al. From Building Information Modeling to City Information Modeling. **Itcon - Journal of Information Technology in Construction**. [si], p. 292-307. set. 2014. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2014/17>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WEYGANT, Robert S. **BIM Content Development: Standards, Strategies, and Best Practices**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. 448p.

ZAIDAN, Ricardo Tavares. GEOPROCESSAMENTO CONCEITOS E DEFINIÇÕES. **Revista de Geografia - Ppgeo - Ufjf**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.195-201, 28 set. 2017. Universidade Federal de Juiz de Fora. <http://dx.doi.org/10.34019/2236-837x.2017.v7.18073>.

APÊNDICE A – Lista de plataformas BIM analisadas para composição da modelagem BIM

Tabela 9 - Plataformas BIM analisadas para a etapa de modelagem BIM

PLATAFORMAS BIM			
#	Plataforma	Desenvolvedora	Principais funções
1	AECOSim Building Designer	Bentley Systems	Modelagem tridimensional de componentes arquitetônicos, mecânicos, elétricos e geradores
2	Allplan Architecture	Nemetschek	Modelagem tridimensional e análise de custos
3	ArchiCAD	Graphisoft	Modelagem tridimensional de projetos arquitetônicos
4	Bentley Architecture	Bentley Systems	Modelagem tridimensional de projetos arquitetônicos
5	BricsCAD BIM	Bricsys	Modelagem tridimensional de projetos arquitetônicos
6	Destini Profiler	Beck Technology	Modelo conceitual tridimensional, estimativa de custos em tempo real
7	Navisworks	Autodesk	Coordenação de projetos, análise 5D e ferramentas de simulação
8	Revit 2018	Autodesk	Multidisciplinaridade para projetos colaborativos
9	SketchUp	Trimble Inc.	Modelagem tridimensional de projetos arquitetônicos e documentações
10	Tekla Structures	Trimble Inc.	Modelagem estrutural tridimensional e documentações
11	Vectorworks Architect	Nemetschek	Modelagem tridimensional de projetos arquitetônicos
12	Vico Office	Trimble Inc.	Modelo conceitual 5D para geração de dados de custo e cronograma

Fonte: a autora.

APÊNDICE B – Resumo de dados obtidos através da análise logística feita pela ferramenta Maximize Capacitated Coverage

Tabela 10 - Resumo dados Maximize Capacitated Coverage

RESUMO - MAXIMIZE CAPACITATED COVERAGE											
ObjectID	Formato	Nome	Tipo de Facility	Capacidade (Kg)	Qtd Demanda	Peso Coletado (Kg)	% da carga utilizada	Localização geográfica		Coleta	
								SnapX	SnapY	Distância (km)	Tempo (min)
148	Point	C01	Required	1000	44	999.605204	99.96%	-46.728297	-23.537048	37.013253	139.9974
149	Point	C02	Required	1000	12	999.645886	99.96%	-46.728295	-23.537046	12.235759	43.997249
150	Point	C03	Required	1000	38	999.231069	99.92%	-46.72829	-23.537041	69.51039	225.605113
151	Point	C04	Required	1000	134	999.852119	99.99%	-46.728284	-23.537036	158.975956	583.532872
152	Point	C05	Required	1000	158	998.872263	99.89%	-46.728274	-23.537635	221.224966	803.406505
153	Point	C06	Required	1000	14	999.076697	99.91%	-46.728226	-23.537685	18.264649	67.276013
154	Point	C07	Required	1000	150	999.908414	99.99%	-46.728504	-23.537388	181.877857	686.466908
155	Point	C08	Required	1000	191	999.956781	100.00%	-46.728462	-23.537439	206.385139	750.73821
156	Point	C09	Required	1000	166	999.827067	99.98%	-46.728424	-23.537478	209.598839	761.622113
157	Point	C10	Required	1000	61	999.712654	99.97%	-46.728329	-23.537578	77.427296	288.123272
158	Point	C11	Required	1000	120	999.562441	99.96%	-46.728285	-23.537623	131.468558	486.10428
159	Point	C12	Required	1000	34	999.372943	99.94%	-46.728231	-23.537679	46.731669	168.413294
160	Point	C13	Required	1000	83	999.890348	99.99%	-46.728172	-23.537741	113.997581	421.641668
161	Point	C14	Required	1000	72	999.071465	99.91%	-46.728104	-23.537811	118.768131	430.093956
162	Point	C15	Required	1000	43	999.6877	99.97%	-46.72804	-23.537879	66.218784	238.470632
163	Point	C16	Required	1000	104	999.86775	99.99%	-46.728107	-23.537808	155.541419	562.734033
164	Point	C17	Required	1000	10	989.085465	98.91%	-46.727971	-23.53795	17.67643	56.874054
165	Point	C18	Required	1000	40	382.81432	38.28%	-46.727875	-23.53805	58.889398	155.003215
166	Point	C19	Required	1000	7	994.894721	99.49%	-46.727994	-23.537926	11.93673	43.186559
167	Point	C20	Required	1000	5	949.026336	94.90%	-46.727955	-23.537967	11.797572	37.936931
168	Point	C21	Required	1000	9	969.954914	97.00%	-46.727915	-23.538008	15.684509	52.961757
169	Point	C22	Required	1000	167	998.685161	99.87%	-46.727866	-23.538059	258.183149	648.401204
170	Point	C23	Required	1000	83	999.857995	99.99%	-46.728393	-23.53713	97.850773	361.560301
TOTAL:				23000	1745	22277.45971				2297.26	8014.15

OBS.: Tempo estimado da distância percorrida por um caminhão do Facility até o ponto de demanda considerando viagens únicas, ou seja, sem passar em mais de um ponto de demanda por viagem.

Fonte: a autora.

APÊNDICE C – Dados obtidos através do uso do algoritmo de redistribuição de demanda

Tabela 11 - Redistribuição de demanda por coletor para uso da ferramenta Routes, do ArcGIS Pro

REDISTRIBUIÇÃO DE DEMANDA POR COLETOR							
Coletor	Capacidade	Sem redistribuição de coletores			Pós redistribuição de coletores		
		Qtd pontos de coleta	Peso de coleta (Kg)	% Carga do coletor	Qtd pontos de coleta	Peso de coleta (Kg)	% Carga do coletor
C01	1000	44	999.605	99.96%	44	999.459	99.95%
C02	1000	12	999.646	99.96%	12	999.792	99.98%
C03	1000	38	999.231	99.92%	38	999.231	99.92%
C04	1000	134	999.852	99.99%	134	999.852	99.99%
C05	1000	158	998.872	99.89%	148	963.463	96.35%
C06	1000	14	999.077	99.91%	41	999.246	99.92%
C07	1000	150	999.908	99.99%	148	991.864	99.19%
C08	1000	191	999.957	100.00%	148	719.380	71.94%
C09	1000	166	999.827	99.98%	148	865.470	86.55%
C10	1000	61	999.713	99.97%	61	999.996	100.00%
C11	1000	120	999.562	99.96%	120	999.829	99.98%
C12	1000	34	999.373	99.94%	46	999.883	99.99%
C13	1000	83	999.890	99.99%	44	999.951	100.00%
C14	1000	72	999.071	99.91%	72	999.206	99.92%
C15	1000	43	999.688	99.97%	42	999.630	99.96%
C16	1000	104	999.868	99.99%	104	999.398	99.94%
C17	1000	10	989.085	98.91%	9	998.536	99.85%
C18	1000	40	382.814	38.28%	133	932.002	93.20%
C19	1000	7	994.895	99.49%	9	995.101	99.51%
C20	1000	5	949.026	94.90%	5	946.545	94.65%
C21	1000	9	969.955	97.00%	8	969.615	96.96%
C22	1000	167	998.685	99.87%	148	900.368	90.04%
C23	1000	83	999.858	99.99%	83	999.642	99.96%

Fonte: a autora.

APÊNDICE D – Documentação de rotas da ferramenta *Create Routes*

Tabela 12 – Exemplo de documentação de rotas: Rotas do coletor 02 (C02) definida pela ferramenta *Create Routes*, do ArcGIS Pro

ROTA - COLETOR 02						
ObjectID	Formato	RouteName	Horário chegada	Indicações	Tempo decorrido	Distância percorrida
235	Polyline M	149	17-03-20 0:28	Start at C02	0	0
236	Polyline M	149	17-03-20 0:28	Go northeast on Rua Blumenau toward Rua Itanhandu	0.810728	0.229245
237	Polyline M	149	17-03-20 0:28	Turn left on Avenida Imperatriz Leopoldina	0.473057	0.236702
238	Polyline M	149	17-03-20 0:29	Turn right on Rua Brentano	0.310225	0.12069
239	Polyline M	149	17-03-20 0:29	Turn left on Rua Paulo Franco	0.607667	0.257339
240	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Arrive at 5846, on the right	0	0
241	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Depart 5846	0	0
242	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Go back southeast on Rua Paulo Franco	0.146714	0.052344
243	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Turn left on Viela José de Carvalho	0.338095	0.056349
244	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Arrive at 5871, on the right	0	0
245	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Depart 5871	0	0
246	Polyline M	149	17-03-20 0:30	Go back southwest on Viela José de Carvalho	0.338095	0.056349
247	Polyline M	149	17-03-20 0:31	Turn right on Rua Paulo Franco	0.358835	0.133015
248	Polyline M	149	17-03-20 0:31	Turn right on Rua Schiling	0.135428	0.050834
249	Polyline M	149	17-03-20 0:31	Arrive at 6000, on the right	0	0
250	Polyline M	149	17-03-20 0:31	Depart 6000	0	0
251	Polyline M	149	17-03-20 0:31	Go back southwest on Rua Schiling	0.138138	0.050834
252	Polyline M	149	17-03-20 0:31	Turn left on Rua Paulo Franco	0.882487	0.338011
253	Polyline M	149	17-03-20 0:32	Turn left on Rua Brentano	0.357169	0.133222
254	Polyline M	149	17-03-20 0:32	Turn left on Rua Carlos Weber	0.326415	0.127058
255	Polyline M	149	17-03-20 0:33	Arrive at 6120, on the left	0	0
256	Polyline M	149	17-03-20 0:33	Depart 6120	0	0
257	Polyline M	149	17-03-20 0:33	Continue northwest on Rua Carlos Weber	0.540844	0.20514
258	Polyline M	149	17-03-20 0:33	Turn left on Rua Schiling	0.186675	0.068696
259	Polyline M	149	17-03-20 0:34	Arrive at 6595, on the left	0	0
260	Polyline M	149	17-03-20 0:34	Depart 6595	0	0
261	Polyline M	149	17-03-20 0:34	Continue southwest on Rua Schiling	0.161451	0.059413
262	Polyline M	149	17-03-20 0:34	Turn left on Rua Paulo Franco	0.882487	0.338011
263	Polyline M	149	17-03-20 0:35	Turn left on Rua Brentano	0.050187	0.018719
264	Polyline M	149	17-03-20 0:35	Arrive at 6853, on the left	0	0
265	Polyline M	149	17-03-20 0:35	Depart 6853	0	0
266	Polyline M	149	17-03-20 0:35	Continue northeast on Rua Brentano	0.306983	0.114503
267	Polyline M	149	17-03-20 0:35	Turn left on Rua Carlos Weber	0.67891	0.264267
268	Polyline M	149	17-03-20 0:36	Turn right on Travessa Brasilina Dias dos Anjos	0.248331	0.041388
269	Polyline M	149	17-03-20 0:36	Arrive at 6991, on the left	0	0
270	Polyline M	149	17-03-20 0:36	Depart 6991	0	0
271	Polyline M	149	17-03-20 0:36	Go back southwest on Travessa Brasilina Dias dos Anjos	0.248331	0.041388
272	Polyline M	149	17-03-20 0:36	Turn right on Rua Carlos Weber	2.309392	0.878459
273	Polyline M	149	17-03-20 0:38	Turn right on Rua Barão da Passagem	0.840091	0.451429
274	Polyline M	149	17-03-20 0:39	Turn right on Rua Jataí	0.297048	0.191444
275	Polyline M	149	17-03-20 0:40	Arrive at 7075, on the right	0	0
276	Polyline M	149	17-03-20 0:40	Depart 7075	0	0
277	Polyline M	149	17-03-20 0:40	Continue south on Rua Jataí	0.031994	0.020718
278	Polyline M	149	17-03-20 0:40	Turn left on Rua Marquês de Paraná	0.561134	0.363371
279	Polyline M	149	17-03-20 0:40	Turn right on Rua Barão da Passagem	0.35697	0.133225
280	Polyline M	149	17-03-20 0:41	At the roundabout, take the first exit onto Rua Visconde de Pelotas	0.190468	0.114541
281	Polyline M	149	17-03-20 0:41	At the roundabout, take the first exit onto Rua Cordilheiras	0.05791	0.035041
282	Polyline M	149	17-03-20 0:41	Turn right on Rua Cordilheiras, then turn left on Rua Peribebuí	0.290615	0.103452
283	Polyline M	149	17-03-20 0:41	Turn right on Rua Barão de São Gabriel	0.96438	0.486475
284	Polyline M	149	17-03-20 0:42	Bear right on Praça Luiza Helena de Barros	0.15661	0.049593
285	Polyline M	149	17-03-20 0:42	Bear right on Rua Brentano	0.621596	0.221114
286	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Arrive at 7094, on the right	0	0
287	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Depart 7094	0	0
288	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Go back northeast on Rua Brentano	0.106913	0.033857
289	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Arrive at 7121, on the left	0	0
290	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Depart 7121	0	0

291	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Go back southwest on Rua Brentano	0.293828	0.103488
292	Polyline M	149	17-03-20 0:43	Turn right on Rua Carlos Weber	0.867259	0.332198
293	Polyline M	149	17-03-20 0:44	Turn left on Rua Schiling	0.76195	0.250088
294	Polyline M	149	17-03-20 0:45	Turn right on Avenida Imperatriz Leopoldina	0.252295	0.093409
295	Polyline M	149	17-03-20 0:45	Arrive at 7420, on the left	0	0
296	Polyline M	149	17-03-20 0:45	Depart 7420	0	0
297	Polyline M	149	17-03-20 0:45	Go back southeast on Avenida Imperatriz Leopoldina	0.205829	0.093409
298	Polyline M	149	17-03-20 0:45	Turn left on Rua Schiling	0.349019	0.121979
299	Polyline M	149	17-03-20 0:46	Turn right on Rua Paulo Franco	0.882487	0.338011
300	Polyline M	149	17-03-20 0:47	Turn left on Rua Brentano	0.357169	0.133222
301	Polyline M	149	17-03-20 0:47	Turn left on Rua Carlos Weber	0.438961	0.170866
302	Polyline M	149	17-03-20 0:47	Arrive at 7432, on the right	0	0
303	Polyline M	149	17-03-20 0:47	Depart 7432	0	0
304	Polyline M	149	17-03-20 0:47	Continue northwest on Rua Carlos Weber	0.428298	0.161331
305	Polyline M	149	17-03-20 0:48	Turn left on Rua Schiling	0.348126	0.128109
306	Polyline M	149	17-03-20 0:48	Turn left on Rua Paulo Franco	0.882487	0.338011
307	Polyline M	149	17-03-20 0:49	Turn right on Rua Brentano	0.353347	0.12069
308	Polyline M	149	17-03-20 0:49	Turn left on Avenida Imperatriz Leopoldina	0.861989	0.440717
309	Polyline M	149	17-03-20 0:50	Turn right on Avenida Queiroz Filho	0.410255	0.231084
310	Polyline M	149	17-03-20 0:51	Turn right on Rua Blumenau	0.768353	0.238927
311	Polyline M	149	17-03-20 0:51	Finish at C02, on the right	0	0

Fonte: a autora.