



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

THALLES RAMON PINHEIRO DE SOUSA

**MODELO CONCEITUAL E FÍSICO PARA SISTEMAS DE TRANSPORTES
PÚBLICOS UTILIZANDO MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS E ANÁLISE
ORIENTADA A OBJETOS**

Recife
2019

THALLES RAMON PINHEIRO DE SOUSA

**MODELO CONCEITUAL E FÍSICO PARA SISTEMAS DE TRANSPORTES
PÚBLICOS UTILIZANDO MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS E ANÁLISE
ORIENTADA A OBJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Informação

Orientadora: Profa. Dr.^a Lucilene Antunes Correia Marques de Sá

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- S725m Sousa, Thalles Ramon Pinheiro de.
Modelo conceitual e físico para sistemas de transportes públicos utilizando modelagem de dados espaciais e análise orientada a objetos / Thalles Ramon Pinheiro de Sousa. - 2019.
114 folhas, il., tabs., abr. e sigl.
- Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2019.
Inclui Referências.
1. Engenharia Cartográfica. 2. Mobilidade urbana. 3. Modelagem de dados espaciais. 4. BDE. 5. UML. 6. OMT-G. I. Sá, Lucilene Antunes Correia Marques de (Orientadora). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-200

THALLES RAMON PINHEIRO DE SOUSA

**MODELO CONCEITUAL E FÍSICO PARA SISTEMAS DE TRANSPORTES
PÚBLICOS UTILIZANDO MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS E ANÁLISE
ORIENTADA A OBJETOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 21 / 02 / 2019 .

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Lucilene Antunes Marques de Sá (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. José Luiz Portugal (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Marcia Cristina de Souza Matos Carneiro (Examinadora Externa)
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Dedico esta pesquisa aos meus amados pais, Francisco e Fátima, às minhas irmãs e à minha amada, Nicole, por serem pessoas essenciais em minha vida e por me apoiarem em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me conceder forças, sabedoria e saúde para continuar buscando meu objetivo.

À meus pais, Francisco e Fátima, e às minhas irmãs, Thayanne e Thassianne, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade e me fortaleceram nos momentos mais difíceis. Obrigado pelo amor incondicional!

À minha namorada Nicole, amiga, companheira e incentivadora de todas as horas, por ser paciente ao entender os estresses de cada dia e sempre se orgulhar de mim e confiar no meu trabalho. Obrigado pelo amor e confiança!

À professora Lucilene, minha orientadora, pela oportunidade de compartilhar seu conhecimento e ser seu orientando, nos bons e nos maus momentos sempre tive certeza que poderia contar com seu apoio, carregarei para sempre com gratidão a experiência que adquiri neste tempo.

Ao PPGCGTG da UFPE, representado por sua incrível equipe de professores, pelas oportunidades oferecidas para o meu desenvolvimento intelectual. Agradeço em especial ao "Major" Portugal e à professora Andréia de Seixas, por sua atenção e ensinamentos prestados ao longo deste mestrado.

Desejo igualmente agradecer a todos os colegas e amigos da Pós-Graduação, dentre os quais destaco Heithor Queiroz, Ermerson Vasconcelos, Phablo Benício, Lucas Lima, Aline Neves, Gabriela Dayse e Kelly Ferri que compartilharam suas felicidades e angústias em todos os momentos.

E, finalmente, a todos que me apoiaram e incentivaram em mais uma etapa de minha vida.

RESUMO

A dinâmica da mobilidade urbana em grandes cidades é um dos maiores desafios enfrentados pelos gestores municipais nas últimas décadas visto o aumento da população, busca de serviços em espaços urbanos consolidados e ao aumento do uso de transportes individuais em detrimento aos transportes coletivos. Este trabalho teve como objetivo propor o desenvolvimento de um Modelo de dados conceitual para os sistemas de transportes públicos municipais em grandes cidades, no padrão OMT-G e seguindo as orientações estabelecidas pelas Especificações Técnicas de Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-EDGV 3.0. A agregação de técnicas de MDE - modelagem de dados espaciais auxiliam no entendimento e desenvolvimento de aplicações com perspectiva geográfica, como também constroem uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real que seja adequada às finalidades pretendidas. A metodologia apresentada neste artigo consiste na aplicação de técnicas de abstração de dados, MDE e Análise Orientada a Objetos, e faz uso dos *softwares*: OMT-G Designer destinado a criação do modelo conceitual OMT-G; MySQL Workbench 6.3 para a construção do modelo lógico; e o *software* PostgreSQL com a extensão espacial PostGIS para a criação do modelo físico do BDE. O estudo de caso MobiRecife permitiu evidenciar as dificuldades técnicas de se integrar bases de dados de fontes distintas, e o desenvolvimento dos modelos conceitual e físico abordam como as tecnologias da geoinformação podem propiciar novas abordagens a gestão da mobilidade urbana e melhoria dos sistemas de transporte público. Ademais, surge como uma possibilidade confiável de organizar, armazenar e disseminar dados geoespaciais, além de subsidiar a criação de novos sistemas com perspectiva espacial, incorporando assim aspectos de múltiplas representações e a devida adequação aos padrões estabelecidos pelas especificações brasileiras dispostas pela INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais.

Palavras-chave: Mobilidade urbana. Modelagem de dados espaciais. BDE. UML. OMT-G.

ABSTRACT

The dynamics of urban mobility in large cities is one of the greatest challenges faced by municipal managers in the last decades, due to population growth, the search for services in consolidated urban spaces and the increase in the use of individual transport over collective transport. This work aimed to propose the development of a conceptual data model for municipal public transport systems in large cities, in the OMT-G standard and following the guidelines established by the Technical Specifications of Vector Geospatial Data Structures - ET-EDGV 3.0. The aggregation of spatial data modeling (MDE) techniques helps in the understanding and development of applications with geographic perspective, but also builds an abstraction of objects and phenomena of the real world that is suitable for the intended purposes. The methodology presented in this article consists of the application of data abstraction techniques, MDE and Object Oriented Analysis, and makes use of the following software: OMT-G Designer for the creation of the conceptual model OMT-G; MySQL Workbench 6.3 for the construction of the logical model; and PostgreSQL software with the PostGIS spatial extension for creating the BDE physical model. The MobiRecife case study made it possible to highlight the technical difficulties of integrating databases from different sources, and the development of conceptual and physical models address how geoinformation technologies can provide new approaches to urban mobility management and improvement of public transport systems. In addition, it emerges as a reliable possibility of organizing, storing and disseminating geospatial data, besides subsidizing the creation of new systems with a space perspective, thus incorporating aspects of multiple representations and the appropriate adaptation to the standards established by the Brazilian specifications set forth by INDE - National Infrastructure of Spatial Data.

Keywords: Urban mobility. Spatial data modeling. SDB. UML. OMT-G.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Principais políticas do PMU do Recife	24
Figura 2 –	Dinâmica da População no mundo	25
Figura 3 –	Objetivos fundamentais de uma cidade inteligente.....	28
Figura 4 –	Hierarquia de IDE entre diferentes níveis de jurisdição	33
Figura 5 –	Componentes de uma IDE.....	34
Figura 6 –	Níveis de abstração para aplicações geográficas	38
Figura 7 –	Diagramas UML categorizados definidos pela OMG	41
Figura 8 –	Representação gráfica da classe UML Ônibus	42
Figura 9 –	Tipos de classes georreferenciadas e seus pictogramas	45
Figura 10 –	Ciclos da Metodologia de Desenvolvimento do Processo Unificado	49
Figura 11 –	Artefatos das fases Planejar e Elaborar	51
Figura 12 –	Fluxograma da metodologia de trabalho	55
Figura 13 –	Mapa de localização da Região Metropolitana do Recife – Pernambuco	61
Figura 14 –	Modelo de Análise preliminar descrevendo as principais entidades	65
Figura 15 –	Diagrama de fluxo de dados desenvolvido para o sistema MobiRecife	66
Figura 16 –	Diagrama de contexto do subsistema Operações e interações	67
Figura 17 –	Diagrama de Caso de Uso de Roteirização de Linhas	73
Figura 18 –	Diagrama de Caso de Uso - Pesquisar Pontos de Ônibus ..	74
Figura 19 –	Diagrama de sequência: Criar Roteirização de linhas – Usuário	75
Figura 20 –	Diagrama de sequência: Criar Roteirização de linhas - Administrador.....	75

Figura 21 –	Diagrama de sequência: Pesquisar pontos de embarque ...	76
Figura 22 –	Diagrama de sequência: Espacializar linhas de transporte..	77
Figura 23 –	Modelo Conceitual do Sistema de Transportes Públicos de Passageiros para Grandes Cidades	79
Figura 24 –	Detalhe da Modelagem das Classes agrupadas em: (A) OPERAÇÃO e (B) VIAS URBANAS	80
Figura 25 –	Detalhe da Modelagem das Classes agrupadas em: (C) DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA e (D) LINHAS DE TRANSPORTE	80
Figura 26 –	Exemplo do script de criação da tabela Linha_Transporte ..	95
Figura 27 –	Estrutura do modelo físico do BDE MobiRecife	96
Figura 28 –	Tela inicial do aplicativo WebGIS MobiRecife	98
Figura 29 –	Exemplo de obtenção de informação através das camadas e pop-up	99
Figura 30 –	Exemplo de roteirização utilizando pontos de interesse	100
Figura 31 –	Módulo de disponibilização de dados referentes às linhas de transporte	101
Figura 32 –	Módulo de autenticação para acesso ao sistema MobiRecife	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Fatores de consideração de mobilidade no planejamento de transportes	20
Tabela 2 –	Classificação por cores das classes de um diagrama de classes	37
Tabela 3 –	Tipos de relacionamentos entre classes UML	43
Tabela 4 –	Classificação dos geobjetos	46
Tabela 5 –	Base cartográfica e dados utilizados no estudo	58
Tabela 6 –	Entidade da Base Cartográfica - UnidFederação	84
Tabela 7 –	Entidade da Base Cartográfica – Município	85
Tabela 8 –	Entidade da Base Cartográfica – Área Urbana Isolada	86
Tabela 9 –	Entidade da Base Cartográfica – Bairro	87
Tabela 10 –	Entidade da Base Cartográfica – Via Urbana	88
Tabela 11 –	Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Pontos de Parada	89
Tabela 12 –	Entidade dos Sistemas de Transporte Público– Parada de Ônibus	90
Tabela 13 –	Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Itinerário	91
Tabela 14 –	Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Terminais Integrados	92
Tabela 15 –	Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Estações ...	93
Tabela 16 –	Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Estações TRO	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOO	Análise orientada a objetos
ARU	Área de reestruturação urbana
AUC	Área urbana consolidada
CTTU	Autarquia de trânsito e transporte urbano do Recife
BD	Banco de dados
BDE	Banco de dados espaciais
CTD	Cartografia temática de defesa da força terrestre
CONCAR	Comissão nacional de cartografia
CEMND	Comitê especializado para a estruturação da mapoteca nacional digital
CBTU	Companhia brasileira de trens urbanos
ET-EDGV	Especificações técnicas de estruturação de dados geoespaciais vetoriais
GRCT	Grande Recife consórcio de transportes
IDE	Infraestrutura de dados espaciais
INDE	Infraestrutura nacional de dados espaciais
ICPS	Instituto da cidade Pelópidas Silveira
MapTopoGE	Mapeamento topográfico em grandes escalas
MapTopoPE	Mapeamento topográfico em pequenas escalas
MDE	Modelagem de dados espaciais
OMG	<i>Object modeling technique</i>
OMT-G	<i>Object modeling technique for geographic applications</i>
PMU	Plano de mobilidade urbana
UML	<i>Unified modeling language</i>
TIC	Tecnologias da informação e comunicação
VGI	<i>Volunteered geographic information</i>
PU	Processo unificado
RMR	Região metropolitana do Recife

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS DA PESQUISA	15
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	MOBILIDADE URBANA EM GRANDES CIDADES BRASILEIRAS ..	18
2.1	PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO RECIFE	22
2.2	ESPAÇOS URBANOS CONSOLIDADOS	25
2.1.1	Cidades Inteligentes	27
3	TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO PARA MOBILIDADE	
	INTELIGENTE	31
3.1	INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS	32
3.2	ET-EDGV 3.0	35
3.3	MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS (MDE)	37
3.3.1	Unified Modelling Language (UML)	40
3.3.2	OMT-G	43
3.4	ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS	48
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	54
4.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
4.2	RECURSOS TECNOLÓGICOS	57
4.2.1	Base de Dados Espaciais e Alfanuméricas	58
4.2.2	Programas Computacionais	59
4.2.3	Equipamentos Eletrônicos e Computacionais	59
5	CASO DE ESTUDO: MOBIRECIFE	60
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	60
5.2	ABSTRAÇÃO DO MUNDO REAL	62
5.3	APLICAÇÃO DA ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS	63
5.3.1	Domínio da pesquisa	63
5.3.2	Modelo de Análise	64
5.3.3	Definição dos Requisitos	65
5.3.4	Diagrama de fluxo de dados e contexto	65
5.3.4.1	Especificação de Componentes	67

5.3.5	Casos de Uso	68
5.3.5.1	Identificação dos atores	68
5.3.5.2	Particionamento em casos de uso	68
5.3.6	Diagramas de Casos de uso	73
5.3.7	Diagramas de Sequência	74
5.4	PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL PARA TRANSPORTES PÚBLICOS DE PASSAGEIROS	77
5.4.1	Dicionários de Dados	82
5.5	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO FÍSICO DE BDE	95
5.6	DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO APLICATIVO WEBGIS	99
6	CONCLUSÕES	102
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICE A – MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA DE TRANSPORTES PÚBLICOS DE PASSAGEIROS PARA GRANDES CIDADES	111
	APÊNDICE B – MODELO FÍSICO DO BANCO DE DADOS ESPACIAL MOBIRECIFE	112

1 INTRODUÇÃO

A informação é usada em quase todos os aspectos da atividade humana e o seu conhecimento e gerenciamento se faz imprescindível. O processo de urbanização, historicamente, tem sido associado a importantes transformações econômicas e sociais, correlacionado ao desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico de uma região e trazendo consigo a necessidade de maior mobilidade, devido a maior expectativa de vida da população e o aumento da densidade populacional (UNITED NATIONS, 2014; CHEN et al., 2014; DOCIU; DUNARINTU, 2012).

Tal processo, seguindo uma tendência mundial, tem ocorrido nas cidades brasileiras de forma intensa e desestruturada devido ao crescimento populacional e a ocupação desordenada dos núcleos urbanos e agravado pela falta de planejamento e estrutura das cidades.

Este cenário exige que as cidades procurem soluções para as suas necessidades que possibilitem o melhor gerenciamento dos seus serviços urbanos, desde as interconexões de redes (transportes, energia, saúde, educação, entre outros) até as necessidades econômicas e sociais da população, auxiliando no crescimento e desenvolvimento da cidade.

A mobilidade urbana é uma das dinâmicas mais importantes encontradas nos espaços urbanos consolidados e que necessitam de uma atenção especial na sua gestão e desenvolvimento. Trata-se não apenas de pensar no deslocamento diário das pessoas e escoamento de serviços, mas também de agregar a organização à ocupação da cidade como um todo, buscando garantir a melhor forma de acesso democrático aos bens e serviços oferecidos.

O correto planejamento da mobilidade urbana, utilizando sistemas integrados e sustentáveis, pode proporcionar qualidade de vida e desenvolvimento econômico aos cidadãos. Neste sentido, surgem a aplicação e integração das TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação) agregadas aos aspectos humanos, sociais e organizacionais. Esta integração é denominada de Cidades Inteligentes, em inglês, *Smart Cities* (FERNANDEZ-ANEZ, 2016). As Cidades Inteligentes ajudam a melhorar a prestação de serviços urbanos essenciais, aumentar a qualidade de vida de seus cidadãos e proporcionar o desenvolvimento econômico sustentável.

Dentre a multiplicidade de tecnologias utilizadas, é importante ressaltar as tecnologias da geoinformação e sua ampla possibilidade de aplicação nos ecossistemas urbanos cada vez mais conectados. Estas tecnologias permitem na sua aplicação, a análise regionalizada e a coleta das especificidades de cada localidade. Sendo assim, é necessário identificar e ordenar seu emprego de maneira eficiente na construção de cidades mais inteligentes e conectadas.

A crescente imprescindibilidade de compartilhamento de dados espaciais entre os diversos provedores traz consigo a importância de estruturar, a partir de métodos e aplicações, a padronização da produção e armazenamento de dados espaciais, visando compreender a diversidade e a sensibilidade de cada domínio. O entendimento destas estruturas complexas de dados gera enriquecimento semântico, que parte do processo de aquisição, armazenamento e gerenciamento de dados, objetivando garantir o compartilhamento, interoperabilidade entre sistemas e disseminação de informações.

A dinâmica urbanística e a complexa realidade física dos objetos existentes no Mundo Real correspondem a maior dificuldade de representação dos dados em ambiente computacional. A falta de homogeneidade e inexistência de padrões técnicos na produção e estruturação em diferentes abordagens, inviabiliza o desenvolvimento de aplicações capazes de subsidiar o planejamento e gestão urbana de forma eficiente.

As plataformas de software agregadas ao uso da cartografia digital exercem importante abordagem na criação e integração de aplicações robustas para cidades inteligentes. De uma forma geral, servem para catalogar os dados relacionados e unir diferentes tipos e estruturas de dados, armazenando-os de forma lógica, além de conseguirem identificar a semântica e gerar informação através da análise e tratamento.

Dessa forma, com a utilização da Modelagem de Dados Espaciais - MDE e conceitos de Análise Orientada a Objetos – AOO, o presente estudo permitirá propor um modelo conceitual e físico para o tema de Transportes Públicos Municipais e, conseqüentemente, contribuir para o avanço neste âmbito.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Esta seção apresenta em síntese, a partir do embasamento teórico realizado, os principais objetivos a serem alcançados durante o desenvolvimento da pesquisa.

1.1.1 Objetivo geral

Propor um padrão de modelo de dados conceitual e físico para sistemas de transportes públicos municipais, de forma regionalizada, aplicando métodos de modelagem de dados espaciais e análise orientada a objetos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Aplicar técnicas de AOO para auferir os parâmetros técnicos necessários à MDE e desenvolvimento de aplicação WebGIS, permitindo a coleta das especificidades de cada localidade;
- Desenvolver um modelo conceitual e físico, no padrão OMT-G e objeto relacional respectivamente, para o tema de Transportes públicos, baseado no modelo de Estrutura de Mobilidade Urbana presente na ET-EDGV 3.0.
- Desenvolver um estudo de caso e validar o modelo conceitual proposto utilizando a área de estudo delimitada em parte da Região Metropolitana do Recife, Pernambuco.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, e são descritos a seguir:

O primeiro capítulo apresenta, além dos conceitos introdutórios, os objetivos da pesquisa e sintetiza a problemática envolvida que levou ao desenvolvimento desta dissertação. Descreve os principais problemas e necessidades envolvidas para a implantação de um sistema de mobilidade integrado.

Os capítulos 2 e 3 tratam do embasamento teórico que confirma o caráter científico da pesquisa, sua relevância e atualidade. A Mobilidade Urbana é discutida no capítulo 2, onde são elencados os principais conceitos, métodos aplicados e a importância do tema, destacando as aplicações inteligentes em mobilidade. O capítulo 3 trata das Tecnologias da Geoinformação empregadas na modelagem de dados para a mobilidade urbana e inteligente, trazendo seus métodos de implementação, características básicas e aplicações. Além disso, os capítulos trazem diversas referências sob as quais se basearam esta pesquisa.

O capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos empregados na pesquisa descrevendo os materiais utilizados e o fluxo de métodos adotados para a obtenção dos resultados. Explica sinteticamente o processo de coleta, tratamento e

armazenamento destas informações que subsidiaram o desenvolvimento dos modelos para a validação na etapa subsequente.

O quinto capítulo expõe o desenvolvimento do estudo de caso MobiRecife, mediante a aplicação de MDE e AOO para mobilidade urbana em grandes cidades. Apresenta a aplicação da abstração, análise e modelagem dos dados e descreve os seguintes modelos: Modelo de análise, modelo conceitual no padrão OMT-G (*Object Modeling Technique for Geographic Applications*), diagrama de fluxo de dados, diagramas UML (*Unified Modeling Language*), casos de uso do sistema e seus respectivos diagramas. Este capítulo apresenta análises parciais dos resultados a partir da validação dos modelos criados na seção anterior.

O sexto e último capítulo traz as conclusões acerca da pesquisa desenvolvida e recomendações para trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas seguida dos Apêndices.

2 MOBILIDADE URBANA EM GRANDES CIDADES BRASILEIRAS

A mobilidade é uma dinâmica chave da urbanização e a infraestrutura associada molda invariavelmente o ambiente urbano. Entretanto, apesar do crescente nível de mobilidade urbana, o acesso a lugares, atividades e serviços tornou-se cada vez mais difícil devido à expansão urbana, tornando a distância entre os pontos de interesse cada vez maiores (MAKAROVA et al., 2017).

A mobilidade urbana é definida pela condição em que se realizam os deslocamentos de pessoas e cargas no espaço urbano, nos termos do art. 4º, inciso IV, da Lei 12.587/2012 que institui a PNMU (Política Nacional de Mobilidade Urbana) (BRASIL, 2012).

A gestão e otimização da mobilidade urbana é um dos principais desafios que qualquer administração municipal enfrenta. Inclui todas as atividades relacionadas à gestão do tráfego de veículos dentro dos limites urbanos, com o objetivo final de permitir uma fácil mobilidade para qualquer pessoa, em qualquer lugar e a qualquer momento (CESANA; REDONDI, 2017).

É importante ressaltar, ainda, que a mobilidade é um componente da qualidade de vida aspirada pelos habitantes de uma cidade e permeia-se por dois conceitos básicos: mobilidade e acessibilidade (CARDOSO, 2008). “A mobilidade refere-se à capacidade das pessoas de se deslocarem nas cidades visando à execução de suas atividades. Já a acessibilidade é a possibilidade de atingir os destinos desejados” (FNP, 2012).

A PNMU (BRASIL, 2012) destaca que “a mobilidade urbana bem planejada, com sistemas integrados e sustentáveis, garante o acesso dos cidadãos às cidades e proporciona qualidade de vida e desenvolvimento econômico”.

Para Wefering et al. (2013), um Plano de Mobilidade Urbana Sustentável é um plano estratégico projetado para satisfazer as necessidades de mobilidade de pessoas e empresas nas cidades e seus arredores para uma melhor qualidade de vida. Suas políticas e medidas abrangem todos os modos e formas de transporte em toda a aglomeração urbana, incluindo o público e privado, passageiros e cargas, motorizados e não motorizados, em movimento e estacionamentos.

No que se refere às diretrizes e fundamentação legal no Brasil, são diversas as normatizações em leis, decretos, medidas e normas complementares para regulação da mobilidade urbana nos três níveis da Administração Pública. Em nível federal,

destacam-se dois marcos legais, Estatuto da Cidade instituído através da lei federal nº 10.257/01, e a PNMU, instrumento regulador instituído pela lei federal nº 12.587/12.

Dentre os dispositivos mais importantes elencados pelo Estatuto da Cidade no âmbito da mobilidade, aponta-se a obrigatoriedade da elaboração de um plano de transporte urbano integrado, inserido ou compatível com o plano diretor existente, para cidades com mais de 500.000 habitantes (BRASIL, 2001). Estas regiões são as mais suscetíveis a precariedade dos serviços de transportes urbanos e metropolitanos, visto a grande população e ineficiência dos serviços públicos, comprometendo a qualidade de vida nas cidades.

Por outro lado, visando a necessidade de prover ao cidadão condições de acessibilidade, mobilidade e melhores condições de transporte público integrando diferentes modais, a PNMU foi instituída tendo como principais diretrizes: a prioridade dos modos de transporte não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado; a integração entre os modos e serviços de transporte urbano; e a redução dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade (Art. 5º, BRASIL, 2012).

Evidencia-se, ainda, instrumentos que garantem os direitos essenciais dos usuários quanto ao acesso à informação e qualidade do serviço prestado. “Os usuários devem ser informados sobre os padrões preestabelecidos de qualidade e quantidade dos serviços ofertados, inclusive com informações disponibilizadas nos pontos de embarque e desembarque como itinerários, horários e tarifas.” (BRASIL, 2012).

Desta forma, a instituição de diretrizes e obrigações pelos entes federativos atribui maior importância aos modos de transporte público e de qualidade, e traz a necessidade de mudança de paradigma nas cidades brasileiras.

Em nível municipal, encontra-se o Plano Diretor da Cidade do Recife (Lei 17.511/08), com normatizações e orientações mais específicas, que regulamenta além do sistema viário e mobilidade – elementos importantes observados nesta pesquisa – outros elementos urbanos como: uso do solo; as Leis do Perímetro Urbano, do Parcelamento do Solo, de Zoneamento, Padrões Construtivos, entre outros, como também o Plano Diretor de Transporte e Mobilidade do Recife (ICPS, 2011). Este dispositivo está detalhado no subitem 2.1.

Diversos fatores a serem considerados no planejamento da mobilidade urbana podem ser tão importantes quanto simplesmente melhorar as vias e velocidades de tráfego dos veículos, como por exemplo, melhorar as condições de caminhada e ciclismo, o conforto no trânsito, aumentar a conectividade nas estradas e a acessibilidade, como podem ser observados na Tabela 1 (LITMAN, 2014).

Tabela 1 – Fatores de consideração de mobilidade no planejamento de transportes

Fator	Descrição	Avaliação convencional	Avaliação abrangente
Mobilidade	Velocidade do tráfego de veículos motorizados, atrasos de congestionamento, custos operacionais do veículo, taxas de acidentes por milha ou quilômetro	Geralmente, considera-se a utilização de indicadores como o nível de serviço da estrada, a velocidade média do tráfego e os custos de congestionamento e as taxas de colisão.	Os impactos devem ser considerados per capita (custos de veículos per capita e acidentes) para levar em conta a quantidade que as pessoas viajam.
Qualidade dos modos	Comodidade, conforto e segurança de caminhada, ciclismo e trânsito.	Considera a velocidade do transporte público, mas não o conforto. O acesso não motorizado é frequentemente ignorado.	Indicadores de desempenho multimodal que representam conveniência, conforto, segurança, acessibilidade e integração.
Conectividade de rede de transporte	Densidade de conexões entre caminhos, estradas e modos e, portanto, a direção das viagens	Os modelos de rede de tráfego consideram as redes rodoviárias e de trânsito regionais, mas geralmente ignoram as ruas locais, redes não-motorizadas e conexões intermodais.	Análise detalhada da conectividade de rede de vias e estradas e conexões entre modos, como a facilidade de caminhar e andar de bicicleta até as estações de transporte.
Acessibilidade do uso da terra	Densidade e mistura de desenvolvimento e, portanto, distâncias de viagem	Muitas vezes ignorado. Alguns modelos integrados consideram alguns fatores de uso da terra.	Análise detalhada de como os fatores de uso da terra afetam a acessibilidade por vários modos.
Substituidores de mobilidade	Serviços de entrega e telecomunicações que reduzem a necessidade de viajar	Apenas ocasionalmente considerado no planejamento de transporte convencional	Considere estas opções de acessibilidade no planejamento de transporte.

Dentre as principais dificuldades cotidianas em mobilidade, o congestionamento de tráfego é um ponto central nas discussões, geralmente associado a grandes regiões metropolitanas onde espaço urbano é um recurso escasso e altamente valioso, devido à alta concentração de pessoas, atividades e serviços (RODE et al., 2014). Litman (2014) esclarece que este fenômeno refere-se a atrasos de viagem causados por interações entre veículos em uma estrada, particularmente quando os volumes de tráfego se aproximam da capacidade de uma rodovia.

Ademais, outros a precariedade dos transportes públicos oferecidos, outro grande problema diariamente enfrentado pela população brasileira, unidos à falta de segurança, má operabilidade dos sistemas e alto custo de utilização que afastam ainda mais os usuários. Além disto, o tempo de viagem imprevisível nos horários de maior trânsito obrigam as pessoas a repensarem as suas rotinas, tornando atrativa a utilização do transporte individual motorizado em detrimento ao público, contribuindo no aumento dos congestionamentos diários.

As soluções para estes problemas por muito tempo foram baseadas simplesmente no aumento da capacidade de redes e na construção de novos meios de escoamento. Entretanto, a expansão das cidades impõe a inevitabilidade de planejamento prévio e análises da realidade local, sempre baseados em indicadores e metodologias sustentáveis.

Diante do exposto, verifica-se a possibilidade da aplicação de Tecnologias da Geoinformação no gerenciamento e desenvolvimento da mobilidade urbana eficiente. Queiroz (2018) aborda o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) como ferramenta de informação como instrumento para tomadas de decisões com qualidade e agilidade na obtenção das informações. Ustugova et al. (2016) apresenta o desenvolvimento de um sistema apoiado em tecnologias da geoinformação para coletar e processar informações sobre o estado e desenvolvimento do ambiente urbano.

Pesquisas realizadas por Dienstl e Scholz (2018), Rocha et al. (2016), Andrade (2015) trazem diversas abordagens e resultados consistentes quanto a aplicação de MDE para os temas de mobilidade urbana e acessibilidade.

Observa-se que a aplicação de Tecnologias da Geoinformação, como exemplo os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a MDE, podem auxiliar na organização, armazenamento, manipulação, análise e modelagem de grandes

quantidades de dados do mundo real, tais como a mobilidade urbana. O SIG facilita a incorporação de critérios sociais, culturais, econômicos e ambientais que levam a uma tomada de decisão mais efetiva (SRIVANIT e SELANON, 2017).

2.1 PLANO DE MOBILIDADE URBANA DO RECIFE

O Plano de Mobilidade Urbana do Recife (PMU) tem por objetivo a definição de estratégias para priorizar o transporte público e o não motorizado na cidade do Recife, identificar áreas carentes de infraestrutura de transporte e promover o deslocamento urbano de maneira adequada (ICPS, 2018a).

Este plano está em desenvolvimento pela Prefeitura do Recife por meio do Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (ICPS) e deve orientar os investimentos em transporte públicos em médio e longo prazo, integrando em um sistema único todos os modais de deslocamentos existentes. É derivado do dispositivo que institui a Política da Mobilidade Urbana, definido no Plano Diretor da cidade do Recife, que objetiva “contribuir para o acesso amplo e democrático à cidade, por meio do planejamento e organização do Sistema de Mobilidade Urbana e a regulação dos serviços de transportes urbanos” (Art. 71, RECIFE, 2008).

Logo, ressalta-se que a implantação do Sistema de Mobilidade Urbana (Art. 73, RECIFE, 2008) deve compreender a “estruturação e coordenação de meios e serviços de transporte urbano e infraestruturas de mobilidade urbana”, e os seus componentes básicos são:

- I. Meios de Transporte Urbano: Motorizados e não motorizados.
- II. Serviços de Transporte Urbano: Serviços de passageiros, carga, individual ou coletivo.
- III. Infraestrutura de Mobilidade Urbana
 - a. Vias e logradouros públicos, inclusive metro-ferrovias, hidrovias e ciclovias;
 - b. Estacionamentos;
 - c. Terminais, estações e demais conexões;
 - d. Pontos para embarque e desembarque de passageiros e cargas;
 - e. Sinalização viária e de trânsito;
 - f. Equipamentos e instalações; e,
 - g. Instrumentos de controle, fiscalização, arrecadação de taxas e tarifas e difusão de informações.

Neste sentido, o desenvolvimento do PMU visa a implantação de inúmeras políticas públicas e estratégias para propor o desestímulo ao uso do veículo motorizado individual, destacam-se as medidas de: redução da velocidade das vias; garantia da segurança de pedestres e ciclistas com projetos de implantação, requalificação e reconstrução das infraestruturas nas vias; estabelecimento de parâmetros de avaliação da qualidade para os serviços de transporte de passageiros, a ampliação dos estacionamentos rotativos; e a exigência de infraestrutura de apoio ao pedestre e ao ciclista pelos chamados polos geradores de viagem e tráfego (ICPS, 2018b). A Figura 1 traz um resumo das principais políticas previstas no PMU.

Figura 1 – Principais políticas do PMU do Recife



Fonte: Adaptado de Soares (2018)

Soares (2018) destaca que o PMU em seu estágio atual de desenvolvimento, reúne dez políticas setoriais: segurança viária, pedestres, ciclistas, transporte

público de passageiros, transporte de carga, polos geradores de viagens, estacionamentos, financiamento, governança, dados e indicadores de mobilidade e aborda, mesmo que extraoficialmente a adoção de rodízio em algumas áreas da cidade e estabelecimento de medidas proibitivas e taxativas de circulação do transporte individual.

Outro importante mecanismo discutido é a implantação de uma estrutura de produção e disponibilização dos dados de mobilidade urbana com vistas a fomentar o desenvolvimento de sistemas inovadores de planejamento e apoio ao cidadão, consoante ao produto proposto nesta pesquisa. O texto base (ICPS, 2018b) informa sobre a importância de disponibilização ao público, de relatórios consolidados de estatísticas de uso do sistema, de demandas por área e de conexões origem-destino, informações individualizadas dos veículos, em tempo real, por acesso remoto relativas às viagens realizadas e em andamento, atendendo sempre às diretrizes da Lei de Acesso à Informação e formato específico estabelecido pelo PMU.

2.2 ESPAÇOS URBANOS CONSOLIDADOS

Hoje, mais de metade da população mundial vive em cidades. As projeções mostram que este processo vertiginoso tende a agregar mais 2,5 bilhões de pessoas nos centros urbanos até 2050 (UNITED NATIONS, 2014). A evolução do processo de aglomeração e crescimento populacional em centros urbanos é expresso através de estatísticas. A Figura 2 ilustra as observações da dinâmica populacional.

Figura 2 – Dinâmica da População no Mundo



Fonte: Depinè (2016)

A dinâmica populacional nas grandes cidades sofrem mudanças cotidianas e aumento expressivo da população mundial, considerando a aglomeração urbana e acrescida evasão rural traz a necessidade de criar novas soluções na gestão das cidades. O infográfico apresentado na Figura 2, ilustra estatísticas preocupantes de crescimento exponencial da população mundial, visto que foram necessários apenas dez anos para o aumento de um bilhão de pessoas. Este crescimento torna-se mais alarmante quando analisado os índices de aglomeração urbana. Em 1950, apenas 30% da população mundial viviam em cidades e a expectativa para 2060 é dobrar esta população.

Visto este cenário, a transformação estrutural das cidades precisará ocorrer a partir de iniciativas que envolvem a criatividade, a cooperação e a negociação para a produção de soluções inteligentes na sociedade (DEPINÈ, 2016).

Sposito (2000) aponta as cidades de hoje como uma forma concretizada do processo de urbanização e que para seu efetivo entendimento é necessário compreender as origens de sua organização e transformações sociais ao longo do tempo.

Para Silveira (2003), o espaço urbano deve ser compreendido enquanto produto histórico da sociedade que o constrói, como resultado das atividades de gerações que, modificando-o e transformando-o, torna o ambiente cada vez mais distante do meio natural. Corrêa (1995) define o espaço urbano como o conjunto de diferentes usos da terra justapostos entre si, fragmentado e articulado, onde se identifica relações espaciais entre partes.

O entendimento do processo de urbanização deve buscar a dimensão espacial e relação com os agentes produtores do espaço urbano, sendo o espaço, condição, meio e produto da reprodução da sociedade, como propõe Carlos (1994).

Neste contexto, com a necessidade de apresentar novas abordagens para assegurar a viabilidade e a prosperidade das áreas urbanas, políticas urbanas, leis e instrumentos de gestão são elaborados a fim de intervir neste processo e gerir a crescente complexidade da transformação urbana. Dentre estes instrumentos, destaca-se a aplicação do conceito de Área Urbana Consolidada – AUC.

A AUC é definida pela Lei Federal nº. 13.465/2017 que dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana no território brasileiro. É embasada em critérios abrangentes nos sentidos físicos, e restritivos no sentido populacional.

Conforme o artigo 16-C da Lei nº 13.465 (BRASIL, 2017), os critérios necessários para definição de uma AUC são:

- Incluída no perímetro urbano ou em zona urbana pelo plano diretor ou por lei municipal específica;
- Com sistema viário implantado e vias de circulação pavimentada;
- Organizada em quadras e lotes predominantemente edificadas;
- De uso predominantemente urbano, caracterizado pela existência de edificações residenciais, comerciais, industriais, institucionais, mistas ou voltadas à prestação de serviços; e
- Com a presença de, no mínimo, três dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados:
 - Drenagem de águas pluviais;
 - Esgotamento sanitário;
 - Abastecimento de água potável;
 - Distribuição de energia elétrica; e
 - Limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos.

A partir do artigo 16-C, não se pode deixar de destacar que a AUC também deve ser mensurada por meio de critérios comuns (densidade demográfica, malha viária e equipamentos urbanos) constituindo assim em um avanço à aplicação prática e identificação das áreas consolidadas (FARIA BRASIL, 2010).

2.2.1 Cidades Inteligentes

As Cidades Inteligentes empregam uma combinação de coleta de dados, processamento e disseminação de tecnologias, preocupando-se com a integração de tecnologias de rede, informática, medidas de segurança e privacidade de dados para promover a qualidade de vida geral de seus cidadãos (GHARAIBEH et al., 2017).

Para Albino et al. (2015), as cidades inteligentes devem integrar tecnologias, sistemas, serviços e capacidades em uma rede orgânica que englobe diversos domínios e que seja flexível para desenvolvimentos futuros, além de garantir acesso aberto.

Dentre os principais objetivos deste conceito, destaca-se o alcance da sustentabilidade nos aspectos sociais, econômicos e ambientais, promovendo uma

abordagem de uso racional dos recursos. As aplicações da cidade inteligente beneficiam mutuamente os cidadãos e o ambiente subjacente, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Objetivos fundamentais de uma cidade inteligente



Fonte: Adaptada de Gharaibeh et al. (2017)

De acordo com Calvillo et al. (2016), esta abordagem destina-se a lidar ou mitigar, através da maior eficiência e otimização de recursos, os problemas gerados pela rápida urbanização e crescimento populacional, como o fornecimento de energia, o gerenciamento de resíduos e a mobilidade.

Os pilares para a construção de cidades inteligentes são as conexões entre capital humano, capital social e infraestruturas de Tecnologias da Informação e Comunicação - TIC, gerando maior desenvolvimento econômico sustentável e melhorar a qualidade da vida dos cidadãos (RIZZO et al., 2015).

Fromhold-Eisebith (2017) traz uma abordagem identificando onze campos de processos de desenvolvimento de cidades inteligentes (mobilidade inteligente, energia, indústrias, educação, entre outros) importantes para a implementação da infraestrutura básica de TIC e construção inteligente, destacando o fundamental desenvolvimento destas aplicações regionalizadas, permitindo a coleta das especificidades de cada localidade.

Kondepudi e Kondepudi (2015), com base nas mais de cem definições de cidades inteligentes analisadas, classificaram oito grandes categorias que constituem uma cidade inteligente:

1. Qualidade de vida / estilo de vida;
2. Infraestrutura e Serviços;
3. TIC / Comunicação / Inteligência / Informação;
4. Pessoas / Cidadãos / Sociedade;
5. Ambiente / Sustentável;
6. Governança / Gestão / Administração;
7. Economia / Recursos; e
8. Mobilidade.

De acordo com Albino et al. (2015), a mobilidade inteligente pode ser dividida em acessibilidade local, acessibilidade internacional, disponibilidade de infraestrutura de TIC e sistemas de transporte sustentáveis e seguros.

Ao longo do desenvolvimento, esta pesquisa trabalhará com os aspectos de mobilidade inteligente (do inglês *Smart Mobility*). A utilização dos dados gerados a partir de dispositivos móveis e veículos, quando devidamente processados e analisados podem melhorar o desempenho da mobilidade em ambiente urbano e os problemas de gestão do tráfego produzindo formas mais poderosas no gerenciamento destas redes.

A mobilidade inteligente refere-se ao uso das TIC nas modernas tecnologias de transporte para melhorar o tráfego urbano. Este processo ambiciona coordenar a logística de mercadorias e pessoas através da mobilidade inteligente de automóveis, bicicletas, caminhabilidade e transportes públicos utilizando informações geográficas e sensores, possibilitando um aperfeiçoamento no deslocamento de cidadãos e logística das empresas.

Diversas cidades brasileiras e estrangeiras iniciaram projetos para implantação de sistemas inteligentes e integração dos modais existentes, visando a melhoria da mobilidade urbana. Estas cidades já são realidade ao adaptarem, em parte, sua infraestrutura, destacando-se: Rio de Janeiro, Londres, Seul, Copenhague e Santander (ANDRADE E GALVÃO, 2016).

A União Europeia desponta neste cenário e apresenta diversos planos e soluções para promover o transporte urbano sustentável. Como exemplo, a Iniciativa CIVITAS promove uma cultura de mobilidade urbana baseada no planeamento

integrado de todos os modos e formas de transporte urbano e tem por objetivo testar estratégias integradas para transportes urbanos limpos e gerar avaliação da implementação destas estratégias (CARVALHO, 2017; ENGELS et al. 2012).

Em território brasileiro, surgiu em 2013 o movimento Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas, com o intuito de reunir as cidades, universidades e setores da iniciativa privada para nortear e discutir os avanços necessários para facilitar o desenvolvimento das cidades mais inteligentes e humanas (REDE, 2018).

Zottis (2015) exhibe que nos últimos anos, a cidade do Rio de Janeiro apresenta uma mudança gradual no modo que a gestão e os moradores pensam a mobilidade. A cidade oferece uma rede de corredores BRT, sistema de metrô e veículos leves sobre trilhos, todos integrados através do bilhete único, e uma rede cicloviária de 450 km.

Como um exemplo da aplicação de TIC na mobilidade urbana, Gschwender et al. (2016) apresentam métodos para obter informações como matrizes de origem e destino de viagens e indicadores de qualidade de serviço, desenvolvidos a partir da análise dos dados de localização implantados pelo sistema público de transporte Transantiago na cidade de Santiago, no Chile.

Estas ações de estímulo a integração das TIC aos diversos segmentos possibilitarão às cidades conseguir aproveitar melhor o potencial dos dados gerados, criando inovações para antecipar os problemas e auxiliando em decisões prévias.

3 TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO PARA MOBILIDADE INTELIGENTE

Com o desenvolvimento urbano acelerado e a complexidade das infraestruturas de serviços urbanos e de transporte, surge uma crescente demanda por informação, em especial as de perspectiva espacial. Isto reflete a necessidade de obtenção, produção e aplicação dos dados geoespaciais de forma consistente e confiável, com objetivo de suprir demandas sociais, econômicas e ambientais, e prover da melhor forma os serviços públicos de atendimento às necessidades da população. Estas demandas, após a aplicação de tecnologias de geoinformação, podem ser melhor compreendidas, como um importante instrumento de gestão, evidenciando a realidade territorial e a gestão planejada e sustentável.

Para tal, é importante entender o dado geoespacial e suas características inerentes. O Plano de Ação da INDE (BRASIL, 2010) o define como:

“Aquele que se distingue essencialmente pela componente espacial, que associa a cada entidade ou fenômeno uma localização na Terra, traduzida por sistema geodésico de referência, em dado instantâneo ou período de tempo, podendo ser derivado, entre outras fontes, das tecnologias de levantamento, inclusive as associadas a sistemas globais de posicionamento apoiados por satélites, bem como de mapeamento ou de sensoriamento remoto.”

Segundo Davis Jr. e Alves (2005), a utilização de dados geoespaciais é fundamental para decisões sobre planejamento e gestão de recursos, bem como a elaboração de políticas públicas e privadas, pois facilitam a análise espacial e a tomada de decisões. A obtenção e a produção de dados geoespaciais consistentes e confiáveis representam a maior parte dos custos no processo de planejamento e gestão.

Outra dificuldade apresentada neste processo é a diversidade e quantidade de atores produtores de dados geoespaciais, o que ocasiona redundância nos dados e desperdício de recursos financeiros. Para Williamson et al. (2003), os atores podem ser definidos como “as partes envolvidas ou interessadas (setor público e privado) que respondem pela aquisição, produção, manutenção e oferta de dados espaciais”.

Ainda é possível destacar dois grupos de atores importantes: “o setor acadêmico é responsável pela educação, capacitação, treinamento e pesquisa em

IDE; e o usuário determina que dados espaciais são requeridos e como devem ser acessados” (WILLIAMSON et al., 2003).

Entretanto, para a elaboração de uma base cartográfica confiável, é importante integrar os diferentes dados produzidos pelos produtores seguindo normas e processos padronizados, tendo em vista assegurar a interoperabilidade de dados e informações geoespaciais, que garantam homogeneizar os conjuntos de dados e possibilitar o compartilhamento destes em uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE).

Diante do exposto, neste capítulo serão discutidos mais especificamente as principais tecnologias da geoinformação aplicadas ao processo de especificação e modelagem de dados espaciais que podem ser aplicadas às políticas públicas de mobilidade e acessibilidade da população.

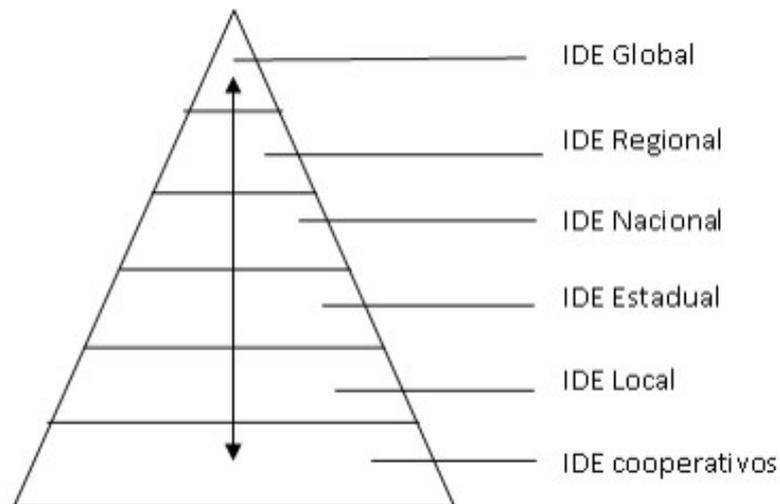
3.1 INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS

A IDE é uma ferramenta que fornece um ambiente apropriado na qual todos os intervenientes, utilizadores e produtores de dados espaciais, possam cooperar entre si e interagir com a tecnologia de uma forma rentável, para melhor atingir os objetivos (RAJABIFARD, 2002). A GSDI (2009) descreve IDE como o conjunto relevante de tecnologias de base, políticas e os arranjos institucionais que facilitem a disponibilização e o acesso aos dados espaciais.

Maranhão (2013) esclarece que as IDE são ferramentas ou estruturas que são implementadas com a finalidade de harmonização e distribuição de informações espaciais de maneira interoperável, ou seja, que os dados possam ser acessados através de diferentes plataformas.

Rajabifard e Williamson (2001) defendem que as IDE são construídas para possibilitar a troca de informações em diversas escalas, como se pode observar na Figura 4.

Figura 4 - Hierarquia de IDE entre diferentes níveis de jurisdição



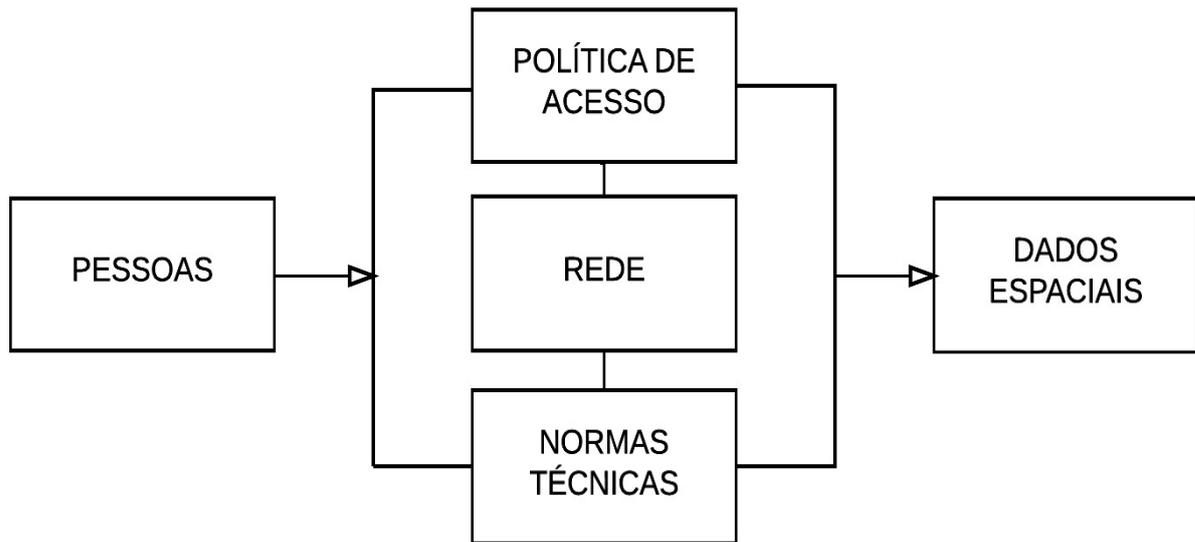
Fonte: Adaptada de Rajabifard e Williamson (2001)

A hierarquia ilustra o modelo no qual uma IDE é composta por níveis interconectados, sendo eles classificados em cooperativo, local, estadual, nacional, regional e global. O principal conceito utilizado neste modelo é que todas as IDE no nível mais baixo incorporam a estrutura e propriedades do nível superior, que possuem elementos de orientação e estruturação básica aos demais níveis, facilitando a padronização e implementação de acordo com às realidades e necessidades locais.

O principal benefício de uma IDE é essencialmente prover as condições para a coordenação, integração, troca e partilha de dados geográficos entre diferentes atores de vários níveis da comunidade de dados espaciais (LIMA, 2012).

Rajabifard e Williamson (2001) propõem como componentes centrais das IDE às políticas de acesso, redes, normas técnicas, pessoas e dados espaciais. Este modelo, apresentado na Figura 5, indica que a interação fundamental entre dados espaciais e as partes interessadas (pessoas) é regido pelos componentes dinâmicos da IDE: as redes de acesso, políticas e normas técnicas.

Figura 5 - Componentes de uma IDE



Fonte: Adaptada de Rajabifard e Williamson (2001)

No mesmo sentido, Groot e Mclaughlin (2000) defendem que uma IDE integrada não pode ser composta apenas por dados espaciais, serviços e usuários isolados. É necessário que haja envolvimento de outras questões importantes a respeito de interoperabilidade, políticas e redes de acesso.

A IDE assume uma grande importância no contexto da gestão de informação espacial para a tomada de decisões, como forma de garantir um desenvolvimento economicamente e ambientalmente equilibrado (LIMA, 2012).

A IDE deve prover um ambiente no qual as organizações possam interagir com tecnologia para promover atividades que possibilitam o uso, a manutenção e a produção de dados geoespaciais (RAJABIFARD; WILLIAMSON, 2001).

A partir desta contextualização, a quantidade de produtores de dados espaciais e a multiplicidade de geotecnologias existentes na atualidade, verifica-se a necessidade que exista uma padronização dos dados, tanto na aquisição como no armazenamento para garantir o compartilhamento, interoperabilidade e disseminação, características básicas para a construção de uma IDE.

Neste sentido, com o objetivo de integrar os dados geoespaciais existentes nas diversas instituições brasileiras, o governo federal através do Decreto no 6.666, de 27/11/2008, instituiu a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE.

A dificuldade de compatibilização para um padrão único de estrutura de dados geoespaciais e a preocupação em estabelecer novas normas para a cartografia digital trouxe à tona a necessidade da criação de um padrão para o intercâmbio de

dados cartográficos digitais no âmbito das organizações governamentais, de modo a tornar o dado espacial produzido validado, em relação às regras topológicas, e estruturado segundo categorias e feições geográficas (BRASIL, 2017).

A INDE é definida como:

“O conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento; padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal.” (BRASIL, 2010).

Para a sua devida institucionalização, a INDE teve estabelecido em seu marco legal, elementos decisivos para o planejamento da sua implantação, apontando responsabilidades e o escopo da atuação de atores, destaca as definições dos elementos, estabelece diretrizes e dá orientações, além de orientar para a elaboração do Plano de Ação implantação da INDE, regido pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) através do Comitê Especializado para a Estruturação da Mapoteca Nacional Digital (CEMND) (BRASIL, 2010).

Dentre os principais elementos criados pelo Plano de Ação para implantação da INDE, destaca-se as Especificações Técnicas para dados geoespaciais, marco regulador do Mapeamento Sistemático Terrestre, para que a produção de dados geoespaciais ofereçam a garantia de: “comparabilidade, compartilhamento, compatibilidade, confiabilidade, consistência e completeza” (BRASIL, 2010). Esta pesquisa utiliza como orientação as Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), que define um modelo conceitual para dados vetoriais, garantindo a consistência lógica dos dados e dos domínios alfanuméricos correspondentes.

A estruturação de dados geoespaciais vetoriais a partir da ET-EDGV possibilita a padronização dos dados, facilita a identificação e construção das regras topológicas e de redes, e das classes de feições vetoriais, auxiliando na produção de conhecimento dos elementos estudados.

3.2 ET-EDGV 3.0

A ET-EDGV 3.0 (BRASIL, 2017) institui como principal finalidade desta norma “padronizar as estruturas de dados geoespaciais vetoriais oficiais de referência produzidos para comporem bases cartográficas relativas às escalas de 1:1.000 e menores”.

Estas especificações, previstas no Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e adotadas como padrões pela INDE, visam padronizar o compartilhamento de dados geoespaciais, a interoperabilidade entre sistemas e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados e informação cartográfica.

Borba, Mota e Brito (2008) esclarecem que as ET-EDGV foram modeladas segundo o paradigma da orientação a objetos (OO) utilizando a notação Object Modeling Technique (OMG), *Unified Modeling Language* (UML) e a extensão OMT-G, e tem por objetivo definir uma estrutura padrão de armazenamento dos dados geoespaciais vetoriais.

Sampaio e Duque (2018) elucidam que a ET-EDGV 3.0 traz a separação em categorias de informação, e são agrupadas em três classificações:

- MapTopoPE (Mapeamento Topográfico em Pequenas Escalas): Apresenta as categorias cujas classes de objetos são elaboradas para atender as escalas de visualização de 1:25.000 e menores;
- MapTopoGE (Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas): apresenta as categorias cujas classes de objetos são normalmente adquiridas para atender as escalas de visualização maiores que 1:25.000 até 1:1.000;
- CTD (Cartografia Temática de Defesa da Força Terrestre): apresenta as categorias de informações relacionadas às atividades de defesa e segurança dos Grandes Eventos, ou aquelas que são úteis para tal (Defesa Civil, Redes de Serviços Públicos, entre outras).

A ET-EDGV 3.0 enfoca a estrutura de dados vetoriais, destina-se aos produtores, desenvolvedores de SIG e usuários finais de dados geoespaciais e utiliza como estrutura básica os Diagramas de Classe simplificados - classificados por cores, de acordo com a Tabela 2 - e organizados em categorias de informação, com seus atributos e listas de domínio aos quais seus atributos podem assumir (BRASIL, 2017).

Tabela 2 - Classificação por cores das classes de um diagrama de classes

Representação	Finalidade
	Classe de objetos original pertencente a aquela categoria.
	Classe de objetos de outras categorias, necessárias a formação da categoria de informações.
	Classe de objetos abstrata, portanto, não instanciável.

Fonte: Adaptado de Brasil (2017)

Embora a área de estudo desta pesquisa seja de âmbito local, a ideia é que o modelo proposto possa ter sua aplicação padronizada com uma abrangência regional, provendo a representação dos fenômenos geográficos modelados para o ambiente computacional seguindo a ET-EDGV 3.0. A modelagem conceitual formalizada nesta pesquisa foi baseada na UML 2.4.1, categoria de informação MapTopoGE e OMT-G (OMG, 2011; BORGES *et. al.*, 2001 e BORGES *et. al.*, 2005).

Como principais vantagens na utilização da ET-EDGV pelos diversos órgãos e produtores de dados geoespaciais, pode-se ressaltar principalmente: a portabilidade dos arquivos; a facilidade de agregação de novas informações e de atualização; a possibilidade de agregação de informações temáticas à base cartográfica; a possibilidade de geração de base cartográfica contínua e a economia de recursos públicos (BRASIL, 2017).

3.3 MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS (MDE)

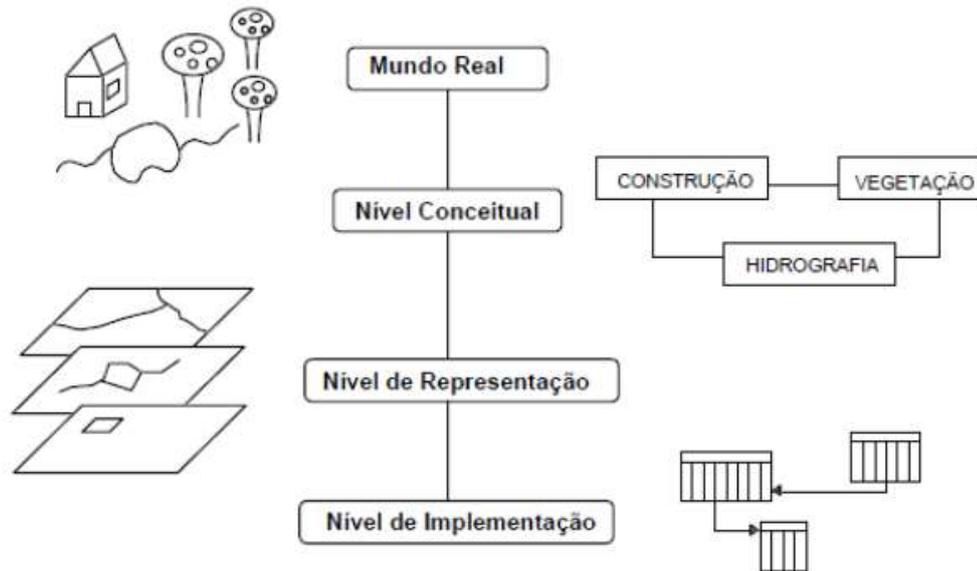
O modelo de dados é uma coleção de conceitos que podem ser usados para descrever um conjunto de dados e as operações para manipular esses dados (BATINI *et al.*, 1992). Representa uma visão dos objetos e fenômenos que serão representados em um sistema de informação. Estes modelos, com características geográficas ou não, é referente ao processo de abstração na qual apenas os elementos essenciais da realidade para um determinado estudo são considerados. (LISBOA FILHO; IOCHPE, 1999).

Para Bernhardsen (2002), a modelagem de dados pode ser entendida como o processo de interpretar a realidade usando um modelo do mundo real e descrevê-lo num modelo de dados. Este é o processo onde a elementos essenciais da realidade da aplicação é abstraída e capturada, constituído por abstração do mundo real, definição do modelo conceitual e elaboração do modelo físico (SÁ, 2001). Portanto,

os sistemas de informações buscam apresentar uma visão delimitada e simplificada do mundo real, sendo necessário um modelo do mundo real que delinieie conceitos e procedimentos visando sua transformação em dados (LOPES, 2002).

A hierarquia dos níveis de abstração podem ser visualizados graficamente na Figura 6.

Figura 6 - Níveis de abstração para aplicações geográficas



Fonte: Borges e Davis Jr. (2004)

De uma maneira geral, Camara et al. (1995) definem que a modelagem de dados contém quatro níveis de abstração:

- nível do mundo real - inclui os elementos reais a serem modelados. Ex.: Estações, terminais, arruamentos e rodovias.
- nível conceitual: etapa essencial onde envolve modelar os campos e objetos geográficos em um nível alto de abstração, determina as classes baseadas na orientação a objetos e envolve também a definição das operações e a linguagem de manipulação de dados disponíveis para o usuário.
- nível de representação: relaciona as classes de campos e objetos geográficos no nível anterior e são determinadas em função da escala, projeção cartográfica, aplicação, resolução temporal e visão do usuário.

- nível de implementação: “define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar as diferentes representações”.

A construção de modelos pela abstração possui o caráter de simplificação da realidade a ser representada (RUMBAUGH et al., 1994). A abstração do mundo real é o estudo do comportamento da aplicação (SÁ, 2001). Borges (1997) afirma que, a modelagem do mundo real é uma atividade complexa porque envolve a discretização do espaço geográfico para a sua devida representação. Neste sentido, a abstração é uma capacidade de visão de alto nível que nos permite examinar problemas de forma a selecionar grupos comuns, encontrar generalidades, para melhor compreender o problema e construir modelos (RUMBAUGH, 1994).

Borges et al. (2005) elucida a abstração de objetos, fenômenos e suas interações do mundo real como uma parte importante da criação de sistemas de informação, e a qualidade desta abstração está vinculada ao sucesso de implementação de um banco de dados. Portanto, pode-se através da modelagem de dados espaciais, delimitar o problema estudado e dividi-lo em vários problemas menores, restringindo a atenção a um único aspecto por vez até chegar à solução.

Trabalhos desenvolvidos por Zhang (2017), Shook et al. (2016), Silavi et al. (2016) e Carvalho (2013) utilizando-se de técnicas de MDE para o mapeamento e desenvolvimento de aplicações geográficas alcançaram resultados satisfatórios no que tange à criação e manipulação de dados com perspectiva espacial.

A utilização de modelos de dados traz como vantagens a possibilidade de projetar sistemas de informação confiáveis, eficientes e com escalabilidade e interoperabilidade, unificação de conceitos e linguagem para que não haja divergência no entendimento dos usuários, e a criação de um repositório único para todos os dados do objeto de estudo.

Os principais modelos para a representação conceitual propostos na literatura para dados espaciais são: GeoOOA (KÖSTERS et al., 1997), Geo-ER (HADZILACOS E TRYFONA, 1997), MADS (PARENT et al., 1998), OMT-G (BORGES et al., 2001) e UML-GeoFrame (LISBOA FILHO; IOCHPE, 2008).

A técnica de modelagem conceitual escolhida para a especificação do padrão modelo de dados espacial desse trabalho foi o OMT-G, comumente utilizado para representação de aplicações geográficas por tratar-se de ser o modelo adotado pela INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais e será contextualizado no subitem 3.3.2, como também a UML, descrito no subitem 3.3.1 e adotado com o

objetivo de especificação, construção e a documentação dos artefatos construídos no sistema MobiRecife.

3.3.1 *Unified Modelling Language (UML)*

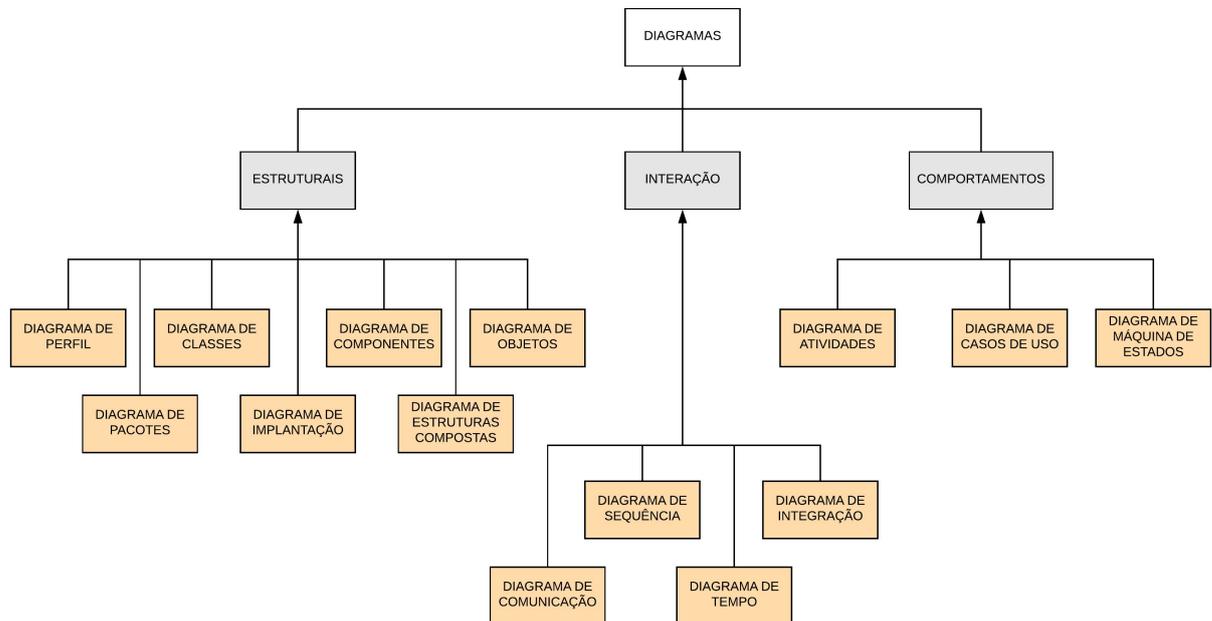
A UML é uma linguagem visual que tem por objetivo fornecer aos arquitetos de sistemas, engenheiros de software e desenvolvedores de software, ferramentas para especificar, construir e documentar os artefatos dos sistemas (OMG, 2017). Bezerra (2007) define a UML como uma linguagem visual para modelar sistemas orientados a objetos que permitem representar os conceitos do paradigma da orientação a objetos através de elementos gráficos padronizados e construção de diagramas que representam diversas perspectivas de um sistema.

Guedes (2011) evidencia que a UML não é um processo de desenvolvimento de software, tampouco uma linguagem de programação, e sim uma notação de modelagem cujo o objetivo é auxiliar na definição das características do sistema, tais como: os requisitos, seu comportamento, a estrutura lógica e a dinâmica dos seus processos.

Um diagrama é uma apresentação gráfica de um conjunto de elementos. São empregados para visualizar o projeto sob diferentes perspectivas, objetivando prover múltiplas visões do sistema a ser modelado (GUEDES, 2011).

Atualmente a UML oferece 14 tipos de diagramas, descritos na Figura 7, agrupados em três categorias (diagramas estruturais, diagramas comportamentais e diagramas de interação), que podem ser utilizados em diferentes momentos da aplicação, desde o levantamento de requisitos a modelagem das classes.

Figura 7 - Diagramas UML categorizados definidos pela OMG



Fonte: Adaptado de OMG (2017)

Cada elemento gráfico da UML possui uma sintaxe e uma semântica pré-estabelecidos e focam a representação conceitual e física do sistema a ser desenvolvido. A sintaxe corresponde a forma de desenhar o elemento e a semântica define o que significa o elemento e com que objetivo ele deve ser utilizado.

A principal vantagem da utilização dos diagramas está na simplificação, comunicação entre a equipe e no entendimento do projeto. A importância da UML está relacionada ao seu uso e padronização (FOWLER, 2005).

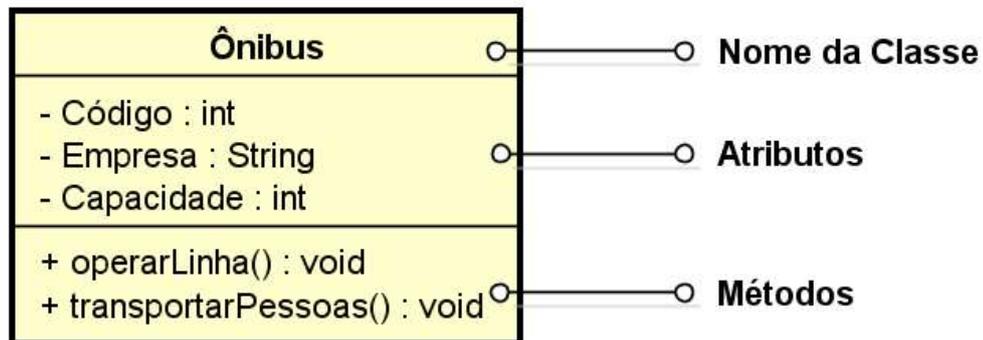
Por utilizar o paradigma orientado a objetos, a UML define os objetos como as entidades mais importantes que contém estado e comportamento, e se relacionam com outros objetos. Bezerra (2007) aborda o paradigma da orientação a objetos como:

“A visualização de um sistema de software como uma coleção de agentes interconectados chamados objetos. Cada objeto é responsável por realizar tarefas específicas. É pela interação entre objetos que uma tarefa computacional é realizada.”

Portanto, entende-se como Objeto, na terminologia de orientação a objetos, todos os elementos do mundo real, e o agrupamento criado a partir da identificação de atributos e serviços comuns a um grupo de objetos define-se como Classe (BEZERRA, 2007).

Guedes (2011) descreve, como pode ser observado na Figura 8, que na UML “uma classe é representada por um retângulo que pode ter até três divisões. A primeira divisão armazena o nome pelo qual a classe é identificada, a segunda enuncia os possíveis atributos pertencentes à classe e a terceira lista os possíveis métodos que a classe contém”.

Figura 8 – Representação gráfica da classe UML Ônibus



Fonte: Adaptado de Guedes (2011)

As classes podem ser representadas de forma simples, apenas com os nomes, ou com dados completos, como os atributos, tipo de dados, métodos e visibilidade de cada um deles. É possível ainda representar de forma gráfica os relacionamentos entre classes, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos de relacionamentos entre classes UML

Tipos	Descrição	Representação
Associação	Indica uma ligação entre classes e quantas vezes ela ocorre.	
Agregação	Enfatiza que as informações de uma classe (objeto) necessitam ser complementadas por um objeto de outra classe.	
Composição	Representa um vínculo mais forte de agregação, onde uma classe só faz sentido a partir da existência da outra.	
Dependência	Identifica uma ligação semântica entre duas classes, onde uma torna-se dependente da semântica da outra.	
Generalização/ Especialização	Permite que as classes herdem a semântica das classes genéricas e que ocorra o sentido contrário.	

Fonte: O Autor (2019)

A partir deste entendimento, a UML facilita a compreensão do sistema que está sendo desenvolvido e a utilização de diversos diagramas permite a correta documentação do projeto, comunicação interna do time de desenvolvimento e possibilita descobrir as falhas de forma antecipada.

3.3.2 OMT-G

O OMT-G é um modelo de dados orientado a concepção de aplicações geográficas e sistemas de banco de dados, e propõe uma série de primitivas que permitem construir o esquema estático no qual são especificadas as classes envolvidas no problema e permite produzir um conjunto de restrições de integridade espacial que precisam ser implementadas pela aplicação ou pelo BDE, servindo como apoio às relações espaciais e topológicas, estruturas de redes e múltiplas representações de objetos (DAVIS JR.; LAENDER, 2000; LIZARDO; DAVIS JR., 2014).

Este modelo de dados provê primitivas para modelar a geometria e a topologia dos dados geográficos, oferecendo suporte a estruturas topológicas ‘todo-

parte', estruturas de rede, múltiplas representações de objetos e relacionamentos espaciais (BORGES et al., 2005).

Utiliza como base o modelo OMT e introduz primitivas definidas para o diagrama de classes da UML – que tem como estrutura básica o Objeto, com o objetivo de aumentar a capacidade de representação semântica daquele modelo – e assim reduz a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual (DAVIS JR, 2018).

Basicamente, esta linguagem desenvolve-se a partir de três conceitos: classes, relacionamentos e restrições de integridade espacial (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001). Para tal, serão descritos observações e características destes conceitos.

As classes, na perspectiva do modelo OMT-G, podem ser georreferenciadas ou convencionais e esta distinção permite que aplicações diferentes compartilhem dados não espaciais, facilitando o desenvolvimento de aplicações integradas, reusabilidade de dados e redução de custos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), pode-se conceitua-las como:

- Classe georreferenciadas: descreve um conjunto de objetos que possuem representação espacial (visão de campos e objetos) e estão associados a regiões da superfície da terra (CAMARA, 1995);
- Classe convencional: descreve um conjunto de objetos com propriedades, comportamento, relacionamentos, e semântica semelhantes, e que possuem alguma relação com os objetos espaciais, mas que não possuem propriedades geométricas (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

As classes convencionais são simbolizadas como descritas na UML, entretanto, as classes georreferenciadas são simbolizadas no modelo OMT-G de forma que a representação inclua no canto superior esquerdo um retângulo que é usado para indicar a forma geométrica da entidade. A partir desta caracterização, pode-se especializar as classes georreferenciadas em classes do tipo geocampo e geoobjeto (CAMARA, 1995):

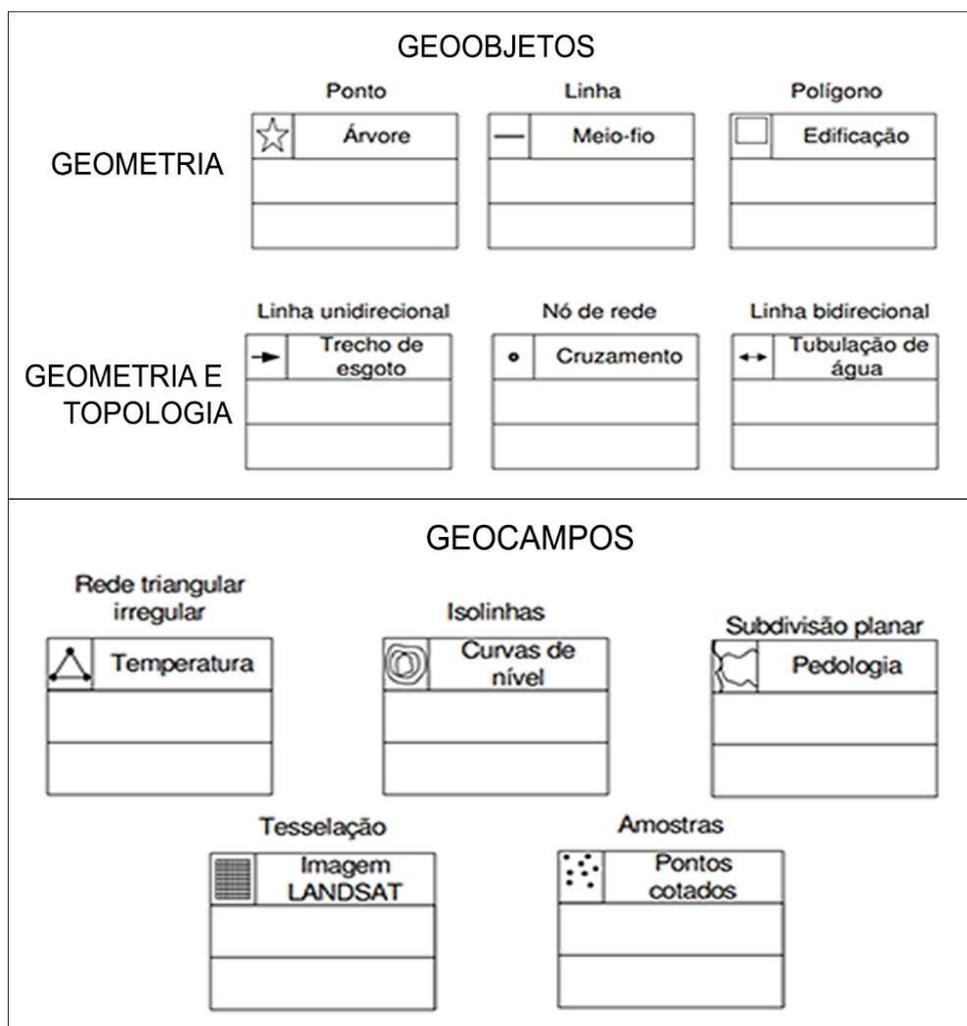
- classes geocampo: “representam objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, correspondendo a variáveis como tipo de solo, relevo e geologia”;

- classes geobjeto: “representam objetos geográficos particulares, individualizáveis, associados a elementos do mundo real, como edifícios, rios e árvores”.

Os símbolos simplificados, também descritos como pictogramas, são usados para indicar a natureza dos elementos espaciais, conforme descrito na Figura 4. As demais representações utilizam o simbolismo indicado pela UML, listando os atributos na seção central da representação completa e os métodos ou operações na seção inferior do retângulo.

Como pode ser observado na Figura 9, o modelo OMT-G define cinco classes descendentes de geocampo: isolinhas, subdivisão planar, tesselação, amostragem e malha triangular, e duas classes descendentes de geobjeto: com geometria (Ponto, Linha e Polígono) e com geometria e topologia (Linha unidirecional, Nó de rede, Linha bidirecional).

Figura 9 - Tipos de classes georreferenciadas e seus pictogramas



A modelagem conceitual que será utilizada predominantemente nesta pesquisa são as classes de geobjetos com geometria - objetos que possuem apenas representação geométrica – e classes com geometria e topologia - além das propriedades geométricas, possuem relações topológicas de conectividade representadas por nós e segmentos orientados.

Os geobjetos com geometria, ilustrados na Figura 9, são classificados em Pontos, Linhas e Polígonos. Já os objetos com geometria e topologia podem ser especializados em Nó, Linha Unidirecionada e Linha Bidirecionada e sua notação é apresentada Figura 9 e classificada na Tabela 4 (BORGES, 1997).

Tabela 4 - Classificação dos geobjetos

Tipo	Classificação	Descrição	Exemplo
Geometria	Ponto	Objetos que podem ser representadas por um único par de coordenadas espaciais (x, y), com o objetivo de identificar localizações ou ocorrências no espaço.	Pontos de paradas de ônibus e localização dos Estações TRO;
	Linha	Classes representadas como objetos lineares, onde são espacializados fenômenos com ao menos dois pares de coordenadas espaciais conectadas e são geralmente associadas a uma topologia arco-nó em estudos de modelos de redes.	Linhas de transporte público
	Polígono	A subclasse polígono é representada por objetos que representam uma área.	Terminais integrados
Geometria e Topologia	Nó	Objetos pontuais no fim de uma linha, ou os objetos pontuais nos quais as linhas se cruzam (nó do grafo), que possuem a propriedade de conectividade.	Cruzamento de vias.
	Linha Unidirecionada	Objetos lineares unidirecionados que começam e terminam em um nó e possuem um sentido.	Trechos de um logradouro, com sentido único.
	Linha Bidirecionada	Objetos lineares bidirecionados que começam e terminam em um nó e possuem dois sentidos.	Trechos de um logradouro, com sentido duplo.

Fonte: Adaptado de Borges (1997)

Para possibilitar a modelagem do mundo real, é necessário identificar quais tipos de relacionamentos as classes apresentam entre si. O modelo OMT-G representa três tipos de relacionamentos entre suas classes: (BORGES; DAVIS JR.; LAENDER, 2001)

- Associações simples: representam relacionamentos estruturais entre objetos de classes diferentes, convencionais ou georreferenciadas, e são indicadas por linhas contínuas;
- Relacionamentos espaciais: representam relações topológicas, métricas, de ordem e fuzzy, permitindo sua derivação geométrica a partir de outro objeto ou análise espacial, e são representados por linhas pontilhadas;
- Relacionamentos topológicos: representam relações espaciais entre dois objetos geográficos sob a perspectiva de propriedades geométricas que são invariantes a transformações.

Outro aspecto essencial no processo de abstração e MDE é a identificação de restrições de integridade espacial, que envolve a identificação de restrições que devem ser mantidas para garantir integridade ao banco de dados. De acordo com Borges (1997), as restrições de integridade espacial são normas referentes à forma ou às relações espaciais de entidades geográficas do mundo real, as quais devem ser observadas pelos objetos espaciais que representam tais entidades no banco de dados geográficos.

Elmasri e Navathe (2016) destacam que os tipos de restrições de integridade mais relevantes e difundidos na modelagem de banco de dados convencionais, são as restrições de domínio, de chave, de integridade referencial e de integridade semântica. Além destas restrições, o modelo OMT-G formaliza restrições relacionadas aos relacionamentos espaciais, são elas (BORGES, 1997):

- Regras de Continência: São impostas restrições pela existência de objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro. Essas regras são derivadas da primitiva espacial Contém;
- Regras de Generalização Espacial: São impostas restrições pela variação dos atributos gráficos;
- Regra de Disjunção: É uma restrição aplicada a classes que não podem de forma alguma ter algum tipo de relacionamento espacial entre elas.

- Regras de Conectividade: São impostas restrições pela existência de conectividade entre os objetos;
- Regras de Associação Espacial: São impostas restrições pela existência de algumas relações espaciais;
- Regras de Geocampo: São impostas restrições à existência de classes do tipo geocampo.

A proposta de modelo conceitual utilizando o OMT-G é viável por aumentar a abstração dos dados geográficos e facilitar as condições topológicas entre as entidades da área de estudo, partindo de classes estáticas e implementando as restrições espaciais e relacionamentos geográficos entre as entidades. Além disso, o modelo OMT-G foi escolhido por ser o modelo padrão utilizado pela CONCAR na definição da ET-EDGV, a fim de padronizar e permitir a manutenção da integridade das estruturas de dados.

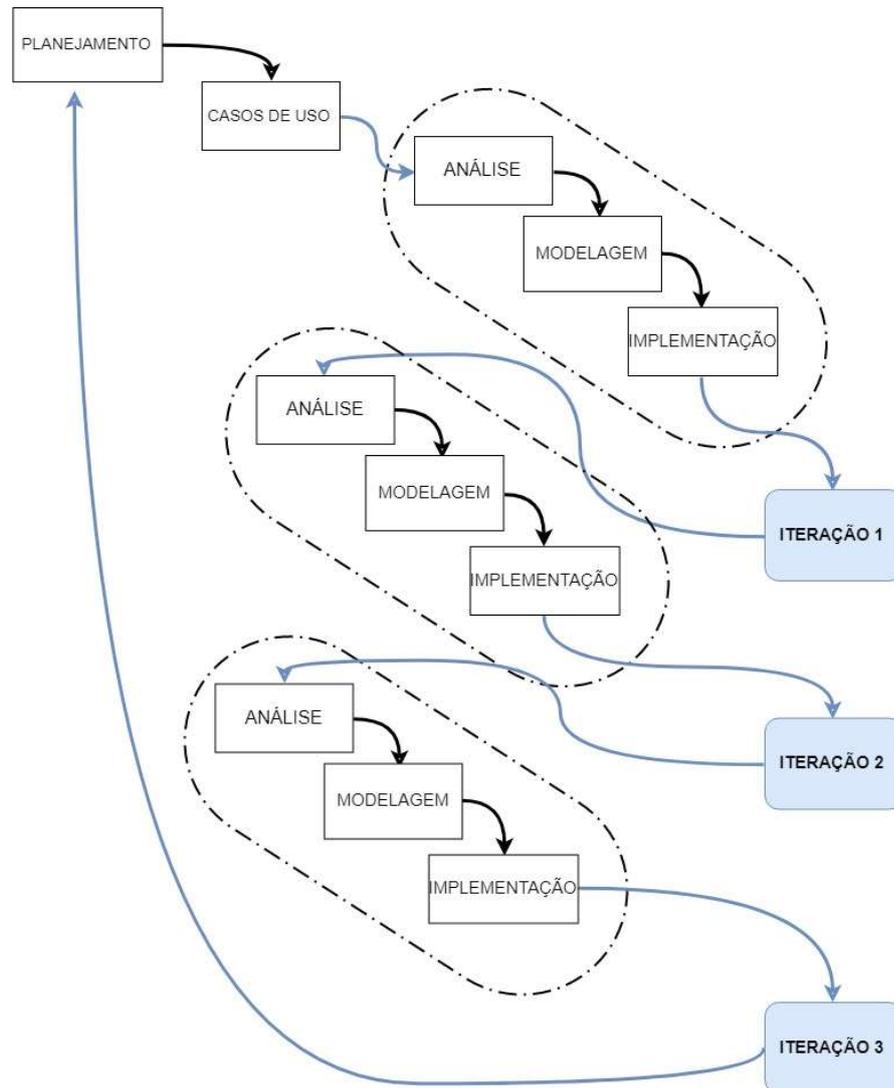
3.4 ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS

A Análise Orientada a Objetos - AOO é um método de análise que examina os requisitos a partir da perspectiva das classes e objetos encontrados no vocabulário do domínio do problema (BOOCH, 1994). É um processo técnico globalmente aceito para manipular uma aplicação específica, negócio ou modelo de sistema e diagrama gráfico simples para análise e melhoria da qualidade do produto, aplicando o método de protótipo orientado a objeto (CASTANA, 2012).

O ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas é o processo de entender como um sistema de informação pode suportar as necessidades de negócios, projetando um sistema, construindo-o e entregando-o aos usuários. Consiste no conjunto de quatro fases fundamentais: planejamento, análise, projeto e implementação e estas fases são compostas por uma série de etapas que se baseiam em técnicas para produzirem resultados (DENNIS; WIXOM; TEGARDEN, 2015).

O desenvolvimento rápido de aplicativos é uma coleção de metodologias que surgiram em resposta às fraquezas do desenvolvimento em cascata e suas variações. Esta método quebra o projeto global em uma série de versões que são desenvolvidas sequencialmente, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 - Ciclos da Metodologia de Desenvolvimento do Processo Unificado



Fonte: Adaptado de Dennis; Wixom; Roth (2012)

Os requisitos mais importantes e fundamentais são agrupados na primeira versão do sistema. Esta versão é desenvolvida rapidamente por um processo de minicascata e, uma vez implementada, os usuários podem fornecer feedback valioso para serem incorporados na próxima versão do sistema (DENNIS, WIXOM, ROTH, 2012).

Larman (2007) defende que em AOO deve-se utilizar técnicas de Desenvolvimento Iterativo e Evolutivo, que envolve o desenvolvimento da aplicação concomitante ao processo de modelagem e definição de requisitos, processo esse que auxilia na descoberta de falhas e correção em tempo hábil, evitando retrabalho e custos mais altos.

Neste sentido, surge a necessidade de aplicar articular de forma rápida e concisa às etapas de modelagem. A Modelagem Ágil é uma metodologia baseada em práticas para uma modelagem e documentação eficazes de sistemas baseados em software. Esta metodologia não define um guia de procedimentos, em vez disso, fornece conselhos sobre como ser eficaz como modelador. (AMBLER, 2002).

“O Processo Unificado surgiu como um processo iterativo popular para o desenvolvimento de softwares visando à construção de sistemas orientados a objetos” (LARMAN, 2007).

No ciclo de vida de sistemas utilizando métodos de desenvolvimento iterativo, o desenvolvimento é organizado em miniprojetos curtos e com duração fixa denominadas iterações. Este método é baseado em refinamentos e incrementos sucessivos para convergir em um sistema adequado (LARMAN, 2007).

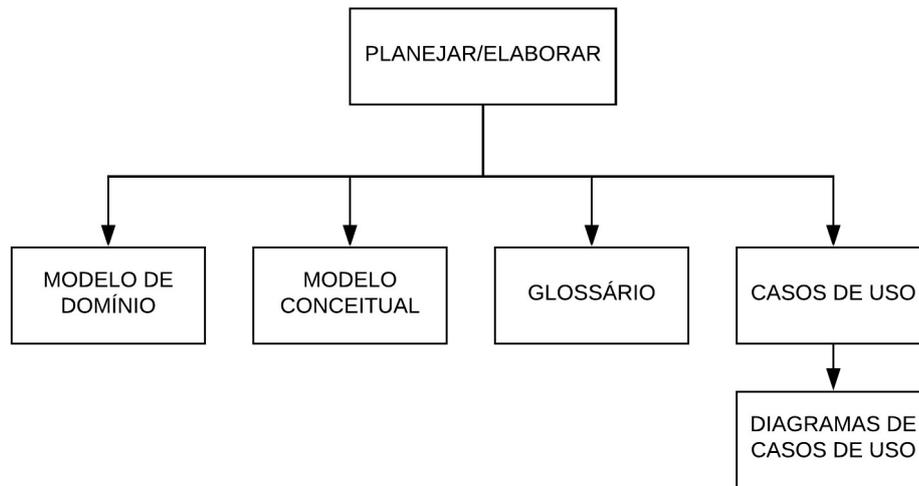
As fases de trabalho e iterações do PU são definidas por Larman (2007), como:

- I. Concepção – visão aproximada, casos de negócio, escopo e estimativas vagas;
- II. Elaboração – visão refinada, implementação iterativa da arquitetura central, resolução dos altos riscos, identificação da maioria dos requisitos e do escopo e estimativas mais realistas.
- III. Construção – implementação iterativa dos elementos restantes de menor risco e mais fáceis e preparação para a implantação.
- IV. Transição – testes beta e implantação.

Similarmente, Dennis, Wixom, Roth (2012) elucidam o ciclo de vida de desenvolvimento de sistemas (CVDS) como o processo de determinar a forma que um sistema de informação pode suportar as necessidades de negócios, projetar o sistema, construí-lo e entregá-lo aos usuários e definem quatro fases fundamentais de desenvolvimento: planejamento, análise, projeto e implementação.

Dentre os principais artefatos – podem ser visualizados na Figura 11 - produzidos nas etapas preliminares, esta pesquisa irá discutir inicialmente os artefatos desenvolvidos pela AOO para as duas fases iniciais de Concepção e Elaboração.

Figura 11 - Artefatos das fases Planejar e Elaborar



Fonte: O Autor (2019)

- Modelo de domínio

O modelo de domínio é o artefato no qual são descritas classes conceituais relevantes a um domínio de interesse bem como as associações entre estas classes e pode ser definido como o principal artefato produzido pelo que geralmente é referenciado na literatura como análise orientada a objetos e geralmente é produzido concomitantemente com a eliciação dos requisitos (LUCENA, 2007).

A definição do domínio do sistema visa diminuir a complexidade e facilitar o entendimento da abordagem e técnicas utilizadas nos diferentes níveis de abstração do processo de desenvolvimento.

Dennis, Wixom e Tegarden (2015) esclarecem que estes modelos fornecem informações importantes para construir o sistema. Ao focar em atividades lógicas primeiro, os analistas podem se concentrar em como o negócio deve funcionar sem se distrair com detalhes de implementação.

Posterior a definição do domínio do problema, o analista deve concentrar-se nos aspectos específicos do seu problema, ou seja, na descrição das responsabilidades - estabelecendo dessa forma as fronteiras do sistema - e a interação entre o usuário e o sistema - associada pelos fluxos de dados com os eventos que documentam as solicitações do usuário (PFLEEGER, 2004).

“Os grandes problemas da análise de sistemas em quase todos os sistemas estão relacionados com: a compreensão do domínio do problema, comunicação dos fatos, evolução contínua e reutilização. Para uma boa modelagem o desenvolvedor

precisa compreender o domínio do problema, especialmente no caso de sistemas grandes e complexos” (PFLEEGER, 2004).

- Modelo Conceitual

O modelo conceitual é o artefato mais importante criado durante a análise. Este modelo não representa entidades de software, mas conceitos do domínio do negócio e ilustra os conceitos importantes do domínio do problema, suas associações e atributos, como também, ajuda a elaborar o glossário, definindo termos importantes do domínio do problema (LARMAN, 2007).

Os elementos básicos do modelo conceitual são: As entidades; os atributos; e os relacionamentos. É importante destacar neste modelo o conceito de Entidade, que pode ser definida como algo encontrado no mundo real que pode ser modelado dentro do sistema, possuindo características e relacionamentos entre si (DENNIS, WIXOM E TEGARDEN, 2015).

A construção do modelo conceitual inicia-se com a análise dos requisitos (definir o que o sistema irá fazer e os requisitos que o sistema deve cumprir). Esta análise preliminar permite identificar as principais entidades iniciais que deverão ser modeladas pelo sistema.

- Glossário

O glossário é um catálogo de palavras que pertencem a uma mesma matéria ou a mesmo campo de estudo, em que são definidas, explicadas ou comentadas. É muito utilizado na definição do modelo de domínio, focalizado na construção de um glossário claro dos termos do domínio de problema.

Para Larman (2007), o glossário define termos importantes e também abrange o conceito de dicionário de dados, que registra requisitos relativos aos dados, tais como: regras de validação, valores aceitáveis, etc. O Glossário pode detalhar qualquer elemento: um atributo de um objeto, um parâmetro de chamada de uma operação, um leiaute de relatório, etc.

- Casos de uso

Um caso de uso representa como um sistema interage com seu ambiente, ilustrando as atividades que são realizadas pelos usuários do sistema e pelo sistema respostas. O objetivo é criar um conjunto de casos de uso que descrevam todas as

tarefas que os usuários precisam executar com o sistema (DENNIS, WIXOM, ROTH, 2012).

“Casos de uso são narrativas em texto, amplamente utilizadas para descobrir e registrar requisitos. Eles influenciam muitos aspectos de um projeto e servem de entrada para vários artefatos subsequentes nos estudos de caso” (LARMAN, 2007).

Guedes (2011) afirma que para facilitar o entendimento dos usuários, tanto na fase de levantamento de requisitos quanto na documentação, os diagramas de casos de uso são utilizados para auxiliar na compreensão do sistema por apresentarem uma linguagem simples e exibir uma visão externa. São usados para modelar o contexto de um sistema, subsistema ou classe.

- Diagrama de casos de uso

Os diagrama de casos de uso descrevem graficamente e de maneira objetiva as principais funcionalidades do sistema usando o ponto de vista do usuário. A OMG (2017) especifica que estes diagramas são compostos basicamente por quatro partes:

- Cenário: Sequência de eventos que acontecem quando um usuário interage com o sistema;
- Ator: Usuário do sistema;
- Use Case: É uma tarefa ou uma funcionalidade realizada pelo ator;
- Comunicação: é o que liga um ator com um caso de uso.

Por utilizar uma linguagem informal e apresentar uma visão geral do comportamento do sistema a ser desenvolvido, esse diagrama deve ser utilizado sobretudo no início da modelagem, porém deve servir como base para outros diagramas durante todo o processo de desenvolvimento.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

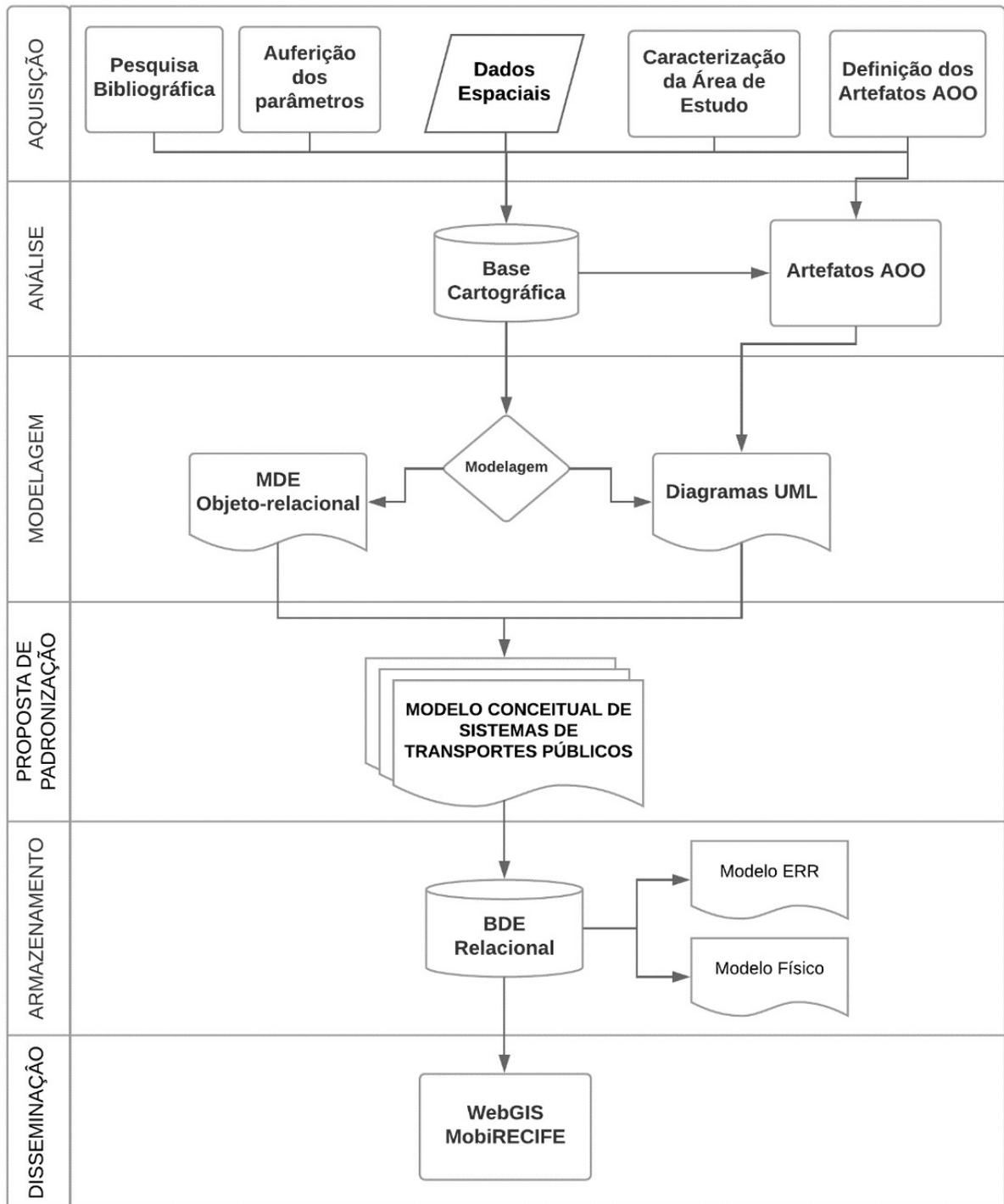
Nesta seção estão descritos os materiais a serem utilizados e os métodos adotados para a obtenção dos resultados. Para atender aos objetivos desta pesquisa, optou-se por realizar inicialmente uma pesquisa de caráter exploratório, permitindo uma investigação das características essenciais da área de estudo e objetivando catalogar os principais parâmetros técnicos necessários à fase de modelagem e exploração dos dados.

4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho está organizada nas seguintes etapas: (i) Revisão bibliográfica, referindo-se a fundamentação teórica sobre importância da implantação padrões e aplicação de técnicas de modelagem para construções de sistemas inteligentes para mobilidade urbana no Brasil; (ii) Análise, envolvendo a investigação dos dados, criação da base cartográfica preliminar e a definição dos principais artefatos; (iii) Modelagem dos diagramas UML e do modelo de análise inicial; (iv) Modelagem conceitual do tema de Transporte Público de Passageiros por meio de aplicação da AOO, e outros modelos de dados elaborados a partir dos dados cedidos pela prefeitura; (v) Validação dos modelos elaborados a partir da construção do BDE objeto-relacional e inserção dos dados do estudo de caso; (vi) por fim, o desenvolvimento da aplicação web para disponibilização de informações acerca do transporte público.

O fluxo de atividades para desenvolvimento da pesquisa pode ser visto na Figura 12. A metodologia adotada nesta pesquisa consiste em seis etapas:

Figura 12 - Fluxograma da metodologia de trabalho



Fonte: O Autor (2019)

Para melhor entendimento da metodologia, detalha-se a seguir as etapas:

- i. A primeira etapa consistiu na pesquisa bibliográfica, em decorrência da necessidade do entendimento de conceitos, técnicas, problemas e deficiências da mobilidade urbana no território brasileiro em um âmbito geral, como também na aquisição dos dados espaciais, obtidas através da coleta

em entidades públicas, tais como: Prefeitura do Recife, Grande Recife Consórcio de Transportes (GRCT) e Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), e por mineração dos dados em sistema de mapeamento e trânsito (Google Maps e Open Street Maps). Posteriormente, foi realizada a auferição dos atributos e relacionamentos das classes identificadas, definição da área de estudo da pesquisa, além da organização dos parâmetros utilizados na definição da mobilidade urbana inteligente e principais artefatos de AOO criados nas etapas subsequentes.

- ii. A segunda etapa consistiu em realizar a análise dos dados obtidos e na criação da base cartográfica preliminar com o objetivo de auxiliar o entendimento e relacionamento entre estes dados e a descrição dos artefatos de AOO. Consiste em uma fase fundamental para as etapas posteriores, onde são estabelecidos os principais relacionamentos e como a base deverá se comportar para o conceber informações básicas da pesquisa.
- iii. A Etapa três, intitulada de modelagem conceitual dos dados, define modelos através a aplicação da MDE e criação de diagramas e artefatos de AOO. Os modelos são:
 - i. Modelo de análise: desenvolvido de acordo com os dados armazenados na base cartográfica preliminar, implementada na Etapa Dois, e na análise dos dados de mobilidade e transporte público da cidade do Recife, Pernambuco;
 - ii. Diagrama de fluxo de dados: especifica o mapeamento do fluxo de informações para processos ou sistemas, para mostrar entradas e saídas de dados, pontos de armazenamento e as rotas entre cada destino;
 - iii. Diagrama de contexto: desenvolvido a fim de representar os fluxos de dados, interfaces entre o sistema e as entidades externas;
 - iv. Casos de uso e seus diagramas: descrevem as funcionalidades proposta para o sistema de forma narrativa e gráfica que detalha o conjunto de ações necessárias para obter o resultado esperado;
 - v. Diagramas de sequência: criados para descreverem os comportamentos dos objetos ao longo do tempo, registrando o

comportamento dos casos de uso criados anteriormente e exibindo as mensagens e retornos prováveis.

- iv. A Etapa quatro traz a proposta de modelo conceitual para a orientação do desenvolvimento de aplicações de transporte público e mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras. Para tanto, o modelo seguiu as orientações e padrões da Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR e da ET-EDGV, na versão 3.0, baseado no subtema Estrutura de Mobilidade Urbana:
 - a. Diagrama de Classes para Mobilidade Urbana – Tema Sistema de Transporte Público de Passageiros: desenvolvido utilizando como base o Modelo de Análise e o padrão OMT-G. Tem por objetivo propor uma modelagem padrão para sistemas de transportes, sob a perspectiva do transporte público de passageiros, em âmbito municipal e para grandes escalas.
- v. A Etapa cinco consistiu em desenvolver o BDE objeto-relacional a fim de testar o modelo conceitual criado na etapa posterior com a criação de:
 - a. Diagrama ERR: desenvolvido através da extensão do Diagrama de Classes, buscando refinar o modelo base e identificar os principais relacionamentos a fim de dar suporte a implementação do Modelo Físico.
 - b. Modelo Físico de BDE: desenvolvido utilizando o Modelo ERR a fim de desenvolver os scripts SQL e estabelecer a criação e inserção de dados no BDE.
- vi. A última etapa objetivou a publicação na internet do mapa interativo, disponibilizando informações acerca de itinerários, horários, roteirizações criadas pelo usuário, bairros e vias urbanas, para acesso via portal e download das informações.

4.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Esta seção descreve os recursos tecnológicos utilizados na etapa de procedimentos metodológicos e apresenta as bases de dados analisadas e exploradas para aquisição de informações essenciais.

4.2.1 Base de Dados Espaciais e Alfanuméricas

Na criação da base cartográfica digital, para a produção dos mapas base que ilustram a localização geográfica e divisão política administrativa, e modelos conceituais para a execução da metodologia foram adquiridos dados no formato *shapefile* e dados descritivos de órgãos e empresas públicas, descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Base cartográfica e dados utilizados no estudo

Nome	Tipo	Fonte	Data	Usado para
Zoneamento urbano	Vetor	Prefeitura do Recife	2017	Definir o centro urbano, distritos e fronteiras
Vias urbanas	Vetor	Prefeitura do Recife	2017	Definir as vias para aplicação da mobilidade urbana
Empreendimentos de impacto	Vetor	Coleta de dados (Vetorização)	2017	Identificar os espaços com maior influência de tráfego
Usos geradores de interferência no tráfego	Vetor	Prefeitura do Recife	2015	Identificar problemas nas vias urbanas
Terminais Integrados e Estações TRO	Vetor	Grande Recife Consórcio de Transportes	2018	Identificar a localização e relacionamentos com entidades de mobilidade urbana
Itinerários, Empresas e Linhas operadas	Alfanumérico	Grande Recife Consórcio de Transportes	2018	Alimentar com informações os <i>shapefiles</i> de linhas de transporte e identificar relacionamentos e atributos
Faixas e Corredores Exclusivos de ônibus	Alfanumérico	CTTU/Dados Abertos	2018	Identificar atributos inerentes aos semáforos e ciclofaixas nas vias urbanas
Semáforos e Ciclofaixas	Alfanumérico	CTTU	2018	Identificar atributos inerentes aos semáforos e ciclofaixas nas vias urbanas
Diagnóstico do Mobilidade RECIFE	Alfanumérico	ICPS	2017	Sistematizar uma base de dados para possibilitar entender a dinâmica de mobilidade da população do Recife.

Fonte: O Autor (2019)

4.2.2 Programas Computacionais

- OMT-G Designer – Desenvolvimento do modelo conceitual, no padrão OMT-G, para o sistema de transporte público municipal;
- MySQL Workbench 6.3 – Construção do modelo ERR e Objeto-Relacional;
- Astah Community 7.0 – Construção dos modelos UML;
- QGIS 2.18 – Manipulação e tratamento dos dados, acesso ao BDE Relacional, criação da base cartográfica utilizada na pesquisa e conversão das informações para arquivo GeoJSON.
- PostgreSQL 9.6 e PostGIS 2.2 – Criação e implementação do BDE Relacional e suas restrições de acesso.
- Python, GeoJSON e Leaflet – Disponibilização dos arquivos em formato GeoJSON em ambiente Web utilizando o *framework* Leaflet e desenvolvimento do aplicativo WebGIS;

4.2.3 Equipamentos Eletrônicos e Computacionais

- Notebook Core i5 2.2 GHz, disco rígido de 1 TB, 8 GB de memória RAM e placa de vídeo de 2 GB;
- Tablet, disco rígido de 16 GB, 2 GB de memória RAM e tela de 10 polegadas.

5 CASO DE ESTUDO: MOBIRECIFE

Este capítulo descreve o desenvolvimento do sistema MobiRecife, caso de estudo proposto para criação, validação dos modelos conceitual, físico e posteriormente o aplicativo web. O subitem 5.1 caracteriza a área de estudo e descreve brevemente sua problemática e dinâmica urbana.

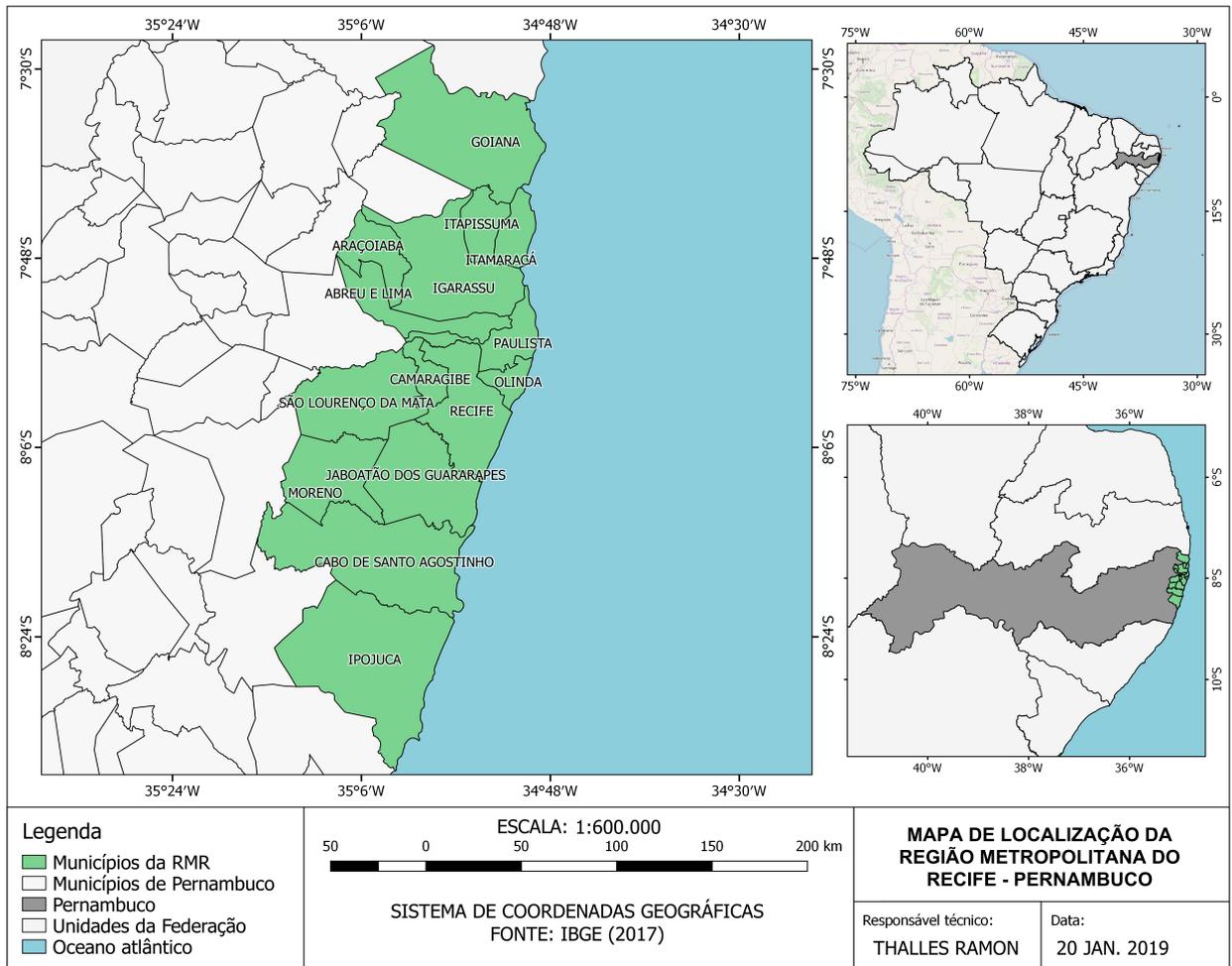
O desenvolvimento da Análise Orientada a Objeto é discutido no subitem 5.2 e divide-se em duas partes, onde a primeira prioriza a descrição e construção dos artefatos textuais, como delimitação do domínio, casos de estudo e a modelagem de diagramas para o entendimento do fluxo e obtenção dos dados espaciais. A segunda etapa, utilizando os artefatos descritivos elaborados na etapa anterior, descreve a modelagem dos dados através da criação de diagramas UML. Finalmente, no subitem 5.3, apresenta-se como será a implementação e visualização da proposta de modelagem na aplicação web.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Região Metropolitana do Recife (RMR) é a maior região metropolitana do Norte-Nordeste, além de ser a terceira área metropolitana mais densamente habitada do país, superada apenas pelas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro (IBGE, 2010).

A RMR pertence à mesorregião da zona da mata pernambucana e compreende quinze municípios: Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe, São Lourenço da Mata, Paulista, Abreu e Lima, Igarassu, Itapissuma, Itamaracá, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Moreno e Goiana. Possui aproximadamente 4,044 milhões de habitante, de acordo com a estimativa do IBGE para o ano de 2017, com uma área territorial de 3.216,262 km² e densidade populacional de 1.260,74 km² (IBGE, 2017). O mapa de localização pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Mapa de localização da Região Metropolitana do Recife - Pernambuco



Fonte: O Autor (2019)

A área de estudo foi escolhida por apresentar diversos problemas de mobilidade urbana e acessibilidade, devido à ausência de infraestrutura ou falta de gestão delas. A Região Metropolitana do Recife (RMR) possui uma frota de 1.352.693 veículos registrados (PERNAMBUCO, 2017). Esse crescimento ao longo dos anos tem causado grandes problemas no deslocamento pelas vias da cidade, independentemente de qualquer acontecimento atípico.

Outra importante problemática deve-se ao aspecto centralizador da região, com alta concentração de bens e serviços, abrigando diversas instituições públicas, privadas e empreendimentos geradores de grande impacto, como por exemplo o Porto de Suape e o Aeroporto Internacional dos Guararapes.

As centralidades urbanas apesar dos benefícios organizacionais e importância histórica trazem um efeito contrário ao abordar a dinâmica de deslocamento diário dos habitantes e o efeito pendular, visto a ampliação periférica e falta de estrutura

adequada para essas áreas, gerando um distanciamento de pessoas dos seus locais de trabalho e dos serviços públicos (ARAÚJO, 2018). Estes fatos, aliados a priorização do transporte individualizado em detrimento ao público, aumentam os problemas diários de tráfego sobretudo o sobrecarregamento do espaço e limitação do fluxo de veículos.

A ausência de políticas específicas para aumentar a oferta de meios de transporte viáveis e eficientes resulta diretamente na busca pelo transporte individual. Investir em transporte público convencional seguro e de qualidade é fundamental para mitigar o problema, integrando os diferentes modais e criando rotas alternativas aos passageiros.

5.2 ABSTRAÇÃO DO MUNDO REAL

A aplicação da abstração de dados através da AOO objetiva reunir e modelar os principais objetos do domínio, visando à facilidade de organização, identificação de relacionamentos e posterior implementação em sistemas de banco de dados.

A aplicação modelada deve preencher os requisitos gerais de todas as aplicações de perspectiva espacial para sistemas de transportes de passageiros desenvolvidos no Brasil. Três elementos podem ser considerados centrais no modelo que são as estruturas físicas da RMR, trechos viários urbanos e as entidades do sistema de transporte.

Na RMR devem ser representados os limites urbanos entre as cidades, bem como a localização dos equipamentos de transportes (pontos de embarque, estações metroviárias, terminais integrados, entre outros), o sistema viário e o ferroviário.

O sistema viário deve ser representado utilizando topologia de rede, segmentando os trechos e nós de ligação, a fim de permitir a geocodificação e roteirização de linhas de transporte e roteiros.

As informações de linhas de transporte e equipamentos de apoio devem ser modelados respectivamente como segmentos e elementos pontuais, através de coleta de dados em VGI (*Volunteered Geographic Information*) e tratamento da base de dados do GRCT.

Além destes elementos mapeáveis, devem ser armazenados aspectos socioeconômicos, dados alfanuméricos das fontes de informações, como o

diagnóstico de mobilidade urbana do Recife (ICPS, 2016), que gera enriquecimento semântico na construção de novas informações.

5.3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS

Esta etapa exhibe o desenvolvimento da modelagem proposta a partir da aplicação de métodos de AOO. Em termos gerais, destacam-se os artefatos desenvolvidos, tais como a descrição do domínio do Sistema MobiRecife, no subitem 5.3.1, e da estruturação dos dados utilizados, pela análise de informações geográficas obtidas através de mapeamento colaborativo e dados oficiais incorporados mediante solicitação via ofícios aos órgãos e empresas públicas mantenedoras dos sistemas municipais de transportes públicos.

5.3.1 Domínio da pesquisa

A análise do domínio se dá pelo processo no qual as informações essenciais para o desenvolvimento são identificadas, capturadas e organizadas para que permita a reutilização em eventuais processos e desenvolvimentos. Esta análise, descrita no Quadro 1, traz uma abordagem formal para prover a facilidade no uso deste modelo e normatizar o processo de abstração e levantamento de requisitos.

O domínio do Sistema MobiRecife está descrito em forma resumida, onde destaca-se o título do artefato e uma breve elucidação acerca dos aspectos intrínsecos à mobilidade e seus sistemas.

Esta análise utilizou informações sobre o organograma do Sistema Municipal de Transportes Públicos da cidade do Recife, suas características e diversas informações disponibilizadas pelo GRCT, CTTU (Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife) e através do Diagnóstico do MobilidadeRECIFE (IPCS, 2016).

Quadro 1 - Domínio da Pesquisa: Sistema MobiRecife

Título: Sistema MobiRecife – Transportes Públicos Urbanos**Descrição:**

Os dados referentes ao Sistema Municipal de Transportes Públicos da cidade do Recife encontram-se divididos entre as empresas mantenedoras: GRCT (Ônibus tradicionais e Linhas de Transporte Rápido por Ônibus - TRO) e CBTU (Trens de superfície e Metrô).

Para acesso as informações espaciais georreferenciadas, os usuários necessitam solicitar via ofício os dados nas empresas. O sistema trabalhará disponibilizando informações acerca dos sistemas de transporte público, tais como:

- Paradas de ônibus e estações;
- Roteirização das linhas de ônibus e metrô;
- Informações alfanuméricas, entre outros.

Caso a informação não esteja cadastrada, o usuário poderá realizar a roteirização através da página de roteirizações desenvolvida e disponível no portal. Estas informações poderão ser baixadas pelo usuário em diversos formatos, sendo o GEOTIFF o principal deles.

Em um segundo módulo, será trabalhado alguns dados do SEI como exemplo, exibindo diversas informações, como:

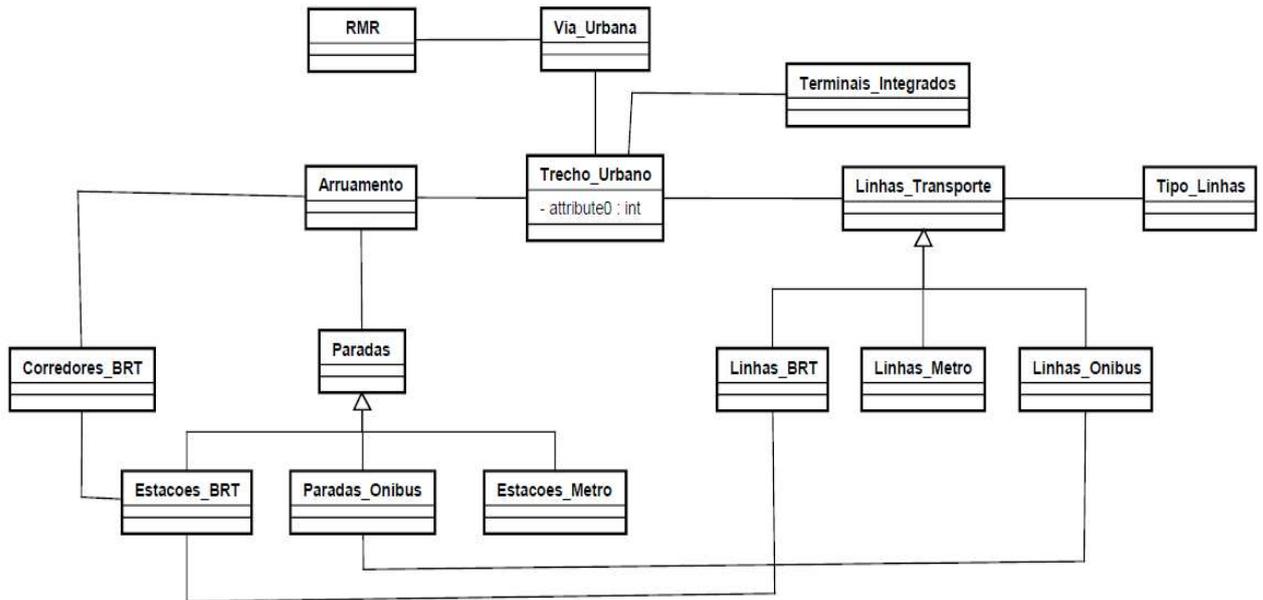
- Definir roteirização de linhas e tempo de percurso médio por linhas;
- Exibir as linhas que atendem as determinadas paradas de ônibus.

Fonte: O Autor (2019)

5.3.2 Modelo de Análise

As entidades auferidas no desenvolvimento preliminar da pesquisa estão descritas na Figura 14. A análise inicial permitiu destacar as entidades principais, de acordo com a importância e a frequência que apareciam no escopo do projeto.

Figura 14 - Modelo de Análise preliminar descrevendo as principais entidades



Fonte: o Autor (2019)

Como pode-se observar na Figura 14, as entidades estão dispostas próximas aos seus níveis de relacionamentos, especializações ou agregações, com intuito de facilitar os primeiros refinamentos dos atributos e métodos de cada entidade. Outros refinamentos ocorrerão a partir da análise conjunta com os modelos de sequência e outros modelos de interações, que auxiliarão no refinamento dos comportamentos dos casos de uso. É possível então, definir que a partir da aplicação de ciclos de revisão e refinamento, detalhar os métodos e parâmetros da aplicação, seus tipos de retorno e outros detalhes intrínsecos.

5.3.3 Definição dos Requisitos

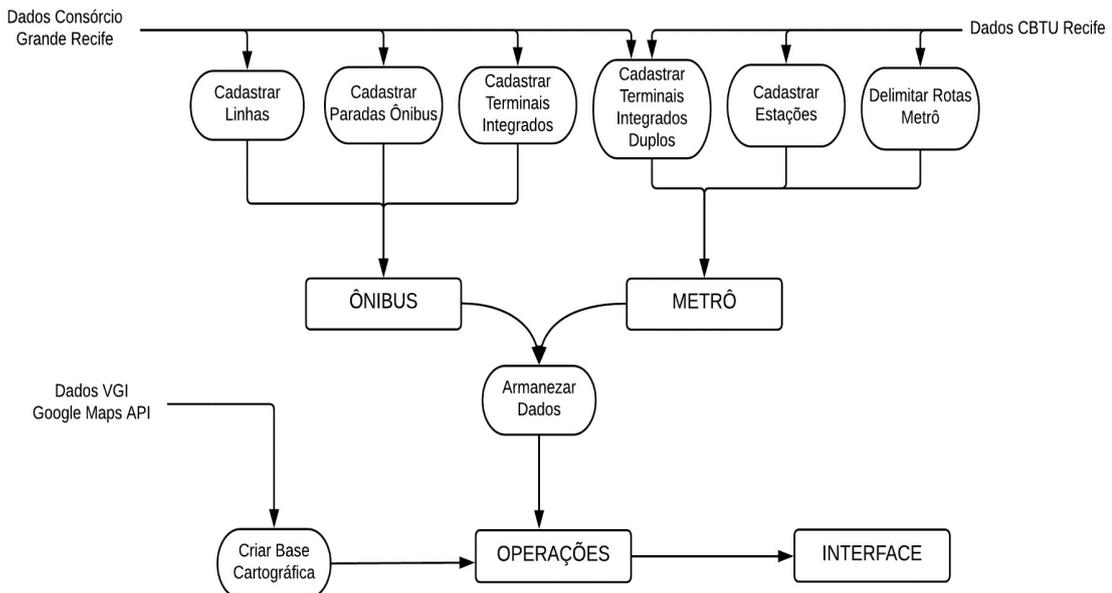
Esta etapa é construída, de forma resumida, a elicitação das funcionalidades a serem implementadas, assim como as condições a serem atendidas pela aplicação. Dessa forma, é possível delimitar como coletar, especificar, detalhar e rastrear os requisitos.

5.3.4 Diagrama de fluxo de dados e contexto

O Diagrama de fluxo de dados, disposto na Figura 15, foi desenvolvido a partir do metodologia de Coad e Yourdon (1997) que especifica o mapeamento do fluxo de informações para processos ou sistemas, utilizando símbolos definidos, como

retângulos, círculos e flechas, além de rótulos de textos breves, para mostrar entradas e saídas de dados, pontos de armazenamento e as rotas entre cada destino.

Figura 15 - Diagrama de fluxo de dados desenvolvido para o sistema MobiRecife



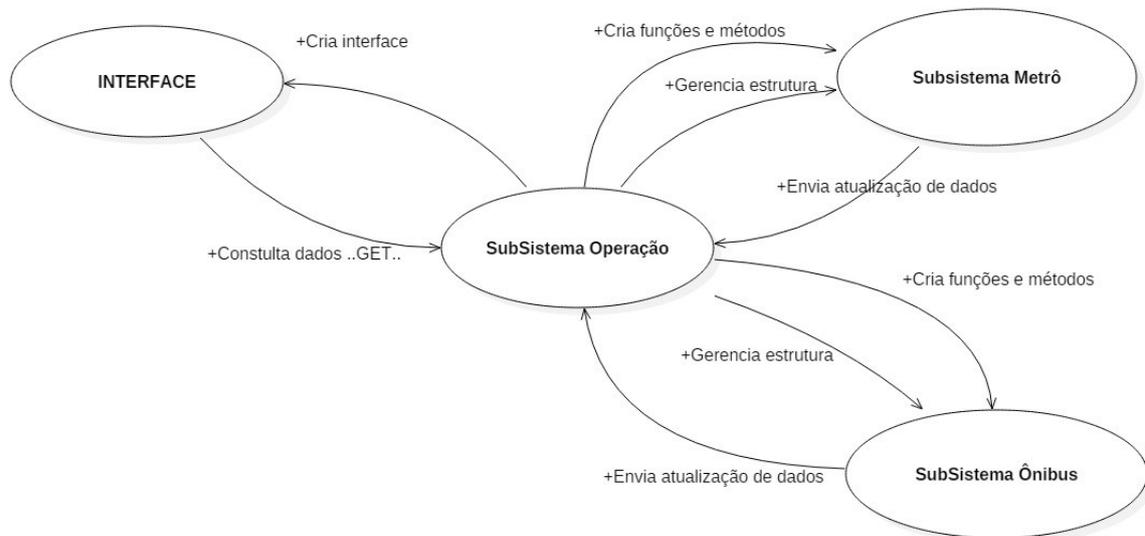
Fonte: O Autor (2019)

Este diagrama exhibe visualmente a dinâmica de obtenção de utilização dos diversos dados espaciais utilizados no sistema. Pode-se identificar três principais bases de dados, as quais disponibilizam informações especializadas. O fluxo a partir dos dados do GRCT, obtém-se as informações acerca das linhas, paradas de ônibus e terminais de integração multimodais utilizados no município e Região Metropolitana do Recife (RMR).

A base de dados da CBTU disponibiliza informações das Estações ferroviárias/metrô existentes, rotas e direções das linhas de Metrô urbano. A partir das duas informações, pode-se classificar os Terminais de Integração quanto aos seus modais disponíveis e caracterizá-los como duplos ou multimodais, interligando os diferentes tipos de transporte público existentes na cidade.

O diagrama de contexto apresentado na Figura 16 representa o sistema como um único processo, composto por fluxos de dados que mostram as interfaces entre o sistema e as entidades externas. O diagrama é uma forma de representar o objeto do estudo, o projeto, e sua relação ao ambiente.

Figura 16 - Diagrama de contexto do subsistema Operações e interações



Fonte: O Autor (2019)

Posterior a classificação e diagramação das entidades de entrada, classifica-se então, as duas principais entidades (Ônibus e Metrô) do sistema, as quais irão interagir, através de subsistemas, com o subsistema de Operações/Controle. Este subsistema será responsável pelo gerenciamento das informações, coleta da base cartográfica nos principais repositórios VGI (Google Maps API e Open Street Maps) e controlará a disponibilização e interação através da interface.

5.3.4.1 Especificação de Componentes

A partir do entendimento do domínio do sistema, especificam-se os componentes com base nos requisitos identificados. Os modelos inicialmente especificados servem para representar uma versão inicial, a qual será refinada até obter uma versão final.

- Requisito Funcional 1: Sistema deve ser capaz de capturar as coordenadas do local do usuário;
- Requisito Funcional 2: Sistema deve espacializar as camadas da base cartográfica, elementos de mobilidade e de transporte público;
- Requisito Funcional 3: Sistema deve ser capaz de permitir *download* dos dados para os usuários.

5.3.5 Casos de Uso

A especificação de casos de uso é parte fundamental na análise orientada a objetos, visto a importância de descrever as necessidades do domínio do projeto, correção de erros, inconsistências e fornecer as especificações necessárias. Esta seção exibe em detalhes as etapas de identificação dos atores, Particionamento de casos de uso e os respectivos diagramas.

5.3.5.1 Identificação dos atores

No caso do domínio do sistema de transportes, os seguintes atores foram identificados:

- Usuário – Ator final do sistema, com privilégios normais, que solicita informações e pode sugerir mudanças e melhorias;
- Administrador – Ator para o qual os relatórios e consultas são enviados. Determina também o cadastro das novas roteirizações e administra do banco de dados da aplicação;
- Empresas Mantenedoras: Sistemas externos pertencentes às empresas de transporte público responsáveis pelo gerenciamento do sistema de transportes na RMR que poderão solicitar e enviar informações; e
- Gestores municipais: Usuários previamente cadastrados no sistema que poderão solicitar diversas informações acerca dos sistemas de transporte municipal de passageiros e sugerir mudanças e melhorias.

5.3.5.2 Particionamento em casos de uso

Para cada caso de uso especificam-se os seus comportamentos (normal e alternativos) através de modelos de casos de uso, complementados com uma documentação textual. A seguir (Quadro 2 ao Quadro 5), estão descritos os casos de uso identificados no sistema.

Quadro 2 - Caso de uso - Pesquisar pontos de embarque

Caso de uso: Pesquisar Pontos de Embarque	ID: CDU-1	Prioridade: Alta
<p>Nível: Objetivo do usuário</p> <p>Ator Principal: Usuário</p> <p>Tipo: Primário</p> <p>Interessados e Interesses:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usuário: deseja obter, a através da sua localização ou ponto previamente definido através de endereço, os pontos de embarque mais próximos. <p>Descrição:</p> <p>O usuário informa ao sistema o endereço que deseja pesquisar ou permite o sistema coletar sua posição em coordenadas geográficas em tempo real. O sistema apresenta espacialmente as paradas próximas e lista quais as linhas de transporte utilizam aquele registro. O usuário recebe a informação solicitada.</p> <p>Pré-condições:</p> <p>Sistema estar conectado à internet.</p> <p>Cenário de sucesso Principal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Usuário acessa o portal do MobiRecife na aba de Pesquisar Pontos de Embarque; 2. Sistema solicita a obtenção da localização do usuário em tempo real ou permite que o Usuário escolha um local predeterminado; 3. Usuário determina uma área de cobertura e cria uma requisição ao sistema; 4. Sistema registra a requisição, conecta com ao BDE e requisita consulta para o retorno das informações; 5. BDE executa uma análise espacial e retorna ao Sistema a requisição; 6. Sistema apresenta o espacialização solicitada pelo usuário. <p>Requisitos especiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interface de usuário adaptável para acesso de smartphones; - Resposta de requisição em até 30 segundos, caso contrário será mostrado um alerta de erro e o usuário precisará reiniciar a requisição; 		

Quadro 3 - Caso de uso - Especializar linhas de transporte

Caso de uso: Especializar linhas de transporte	ID: CDU-2	Prioridade: Alta
<p>Nível: Objetivo do usuário</p> <p>Atores Principais: Usuário, Admin, Empresas Mantenedoras</p> <p>Tipo: Primário</p> <p>Interessados e Interesses:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usuário: deseja obter a espacialização através do código identificador, nome da linha de ônibus ou empresa responsável, informada previamente ao sistema; - Admin: deseja obter espacialização, armazenar linhas de ônibus/metrô espacializadas, disponibilizar acesso através do portal; - Empresas Mantenedoras: deseja obter e comparar as linhas de ônibus/metrô, informar modificações de itinerários e horários, coletar informações, armazenar itinerários, disponibilizar acesso através do portal. <p>Descrição:</p> <p>O usuário informa ao sistema o código identificador da linha ou nome. O sistema lista as linhas de ônibus. O usuário seleciona a linha e o sistema espacializa a rota das linhas. O usuário recebe a informação solicitada.</p> <p>Pré-condições:</p> <p>Sistema estar conectado à internet.</p> <p>Cenário de sucesso Principal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Usuário acessa o portal do MobiRecife na aba de Linhas de Transporte Público e seleciona entre as opções “ônibus” e “metrô”; 8. Usuário informa o nome, código identificador ou empresa responsável e cria uma requisição ao sistema; 9. Sistema registra a requisição, conecta com ao BDE e requisita consulta para o retorno das informações; 10. Sistema apresenta o espacialização solicitada pelo usuário. <p>Requisitos especiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interface de usuário adaptável para acesso de smartphones; - Resposta de requisição em até 30 segundos, caso contrário será mostrado um alerta de erro e o usuário precisará reiniciar a requisição; 		

Quadro 4 - Caso de uso - Solicitar itinerário

Caso de uso: Solicitar Itinerário	ID: CDU-3	Prioridade: Alta
<p>Nível: Objetivo do usuário</p> <p>Ator Principal: Usuário</p> <p>Tipo: Primário</p> <p>Interessados e Interesses:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usuário: deseja obter itinerário através do código identificador de cada rota, informada previamente ao sistema; - Admin: deseja obter itinerários, armazenar itinerários, disponibilizar acesso através do portal; - Empresas Mantenedoras: deseja obter e comparar itinerário, informar modificações de itinerários e horários, coletar informações, armazenar itinerários, disponibilizar acesso através do portal. <p>Descrição:</p> <p>O usuário informa ao sistema quais são os itinerários que deseja baixar através do seu código identificador. O sistema apresenta um registro de qual itinerário foi escolhido e exibe os detalhes do dado solicitado, listando os formatos disponíveis. O usuário confirma a solicitação e o sistema responde com os links para o download do itinerário escolhido. O usuário recebe a informação solicitada.</p> <p>Pré-condições:</p> <p>Sistema estar conectado à internet.</p> <p>Cenário de sucesso Principal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. Usuário acessa o portal do MobiRecife na aba de itinerários; 12. Usuário informa os códigos identificadores e cria uma requisição ao sistema; 13. Sistema registra a requisição, conecta com ao BDE e requisita consulta para o retorno das informações; 14. Sistema apresenta o itinerário solicitado pelo usuário. <p>Requisitos especiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interface de usuário adaptável para acesso de smartphones; - Resposta de requisição em até 30 segundos, caso contrário será mostrado um alerta de erro e o usuário precisará reiniciar a requisição; 		

Fonte: O Autor (2019)

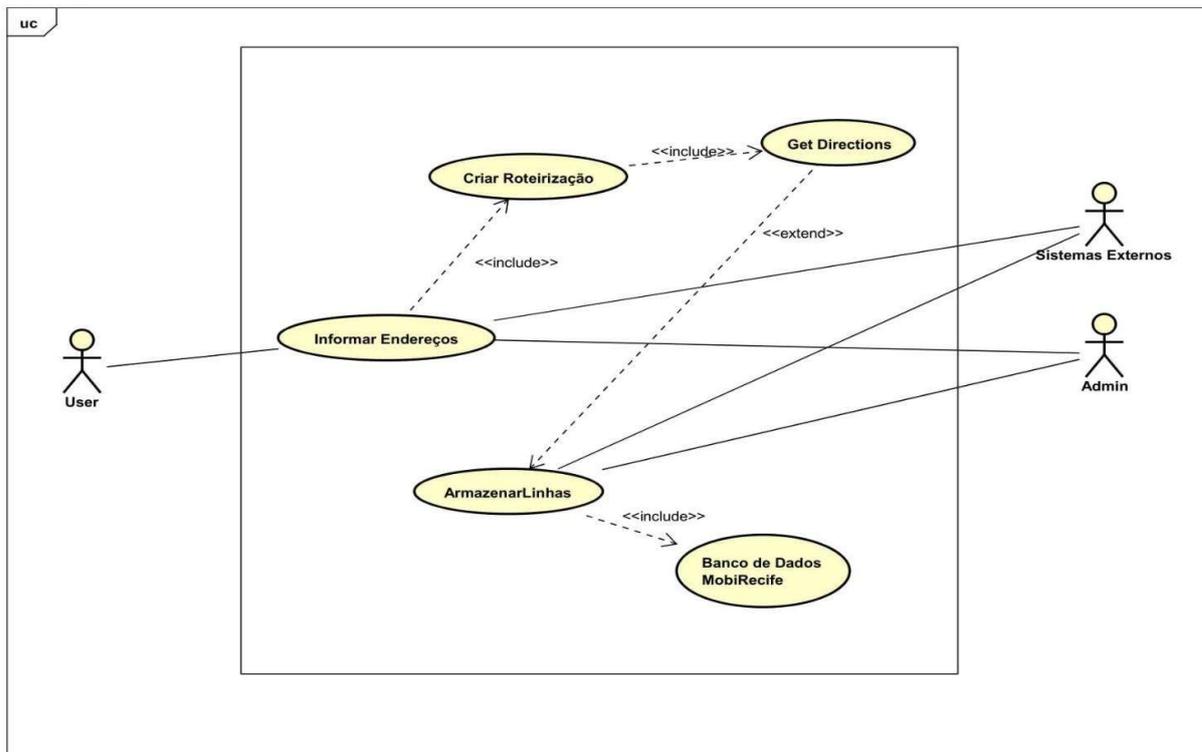
Quadro 5 - Caso de Uso - Criar roteirização de linhas de transporte

Caso de uso: Criar Roteirização de Linhas de Transporte	ID: CDU-4	Prioridade: Alta
<p>Nível: Objetivo do usuário</p> <p>Ator Principal: Usuário</p> <p>Tipo: Primário</p> <p>Interessados e Interesses:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usuário: deseja obter rotas a partir de uma quantidade de endereços informada previamente ao sistema; - Admin: deseja obter de rotas, armazenar roteirizações, disponibilizar acesso através do portal; - Empresas Mantenedoras: deseja obter e comparar rotas, informar modificações acerca de itinerários e horários, coletar informações, armazenar roteirizações, disponibilizar acesso através do portal. <p>Descrição:</p> <p>O usuário informa ao sistema a lista de logradouros. O sistema apresenta a lista de logradouros informados e processa o roteiro na API Directions. O sistema responde com o roteiro e disponibiliza o link para o download. O usuário recebe a informação solicitada.</p> <p>Pré-condições:</p> <p>Sistema estar conectado à internet.</p> <p>Cenário de sucesso Principal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 15. Usuário acessa o portal do MobiRecife na aba de roteirizações; 16. Usuário informa os endereços e cria uma requisição ao sistema; 17. Sistema registra a requisição, conecta com a API Google Directions para o tratamento e retorno das informações, obtém a roteirização solicitada pelo usuário; 18. Sistema identifica qual o nível de permissão do usuário; 19. Sistema apresenta opção de armazenamento caso o usuário seja Admin ou Empresa Mantenedora; 20. Sistema apresenta a roteirização solicitada pelo usuário. <p>Requisitos especiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interface de usuário adaptável para acesso de smartphones; - Resposta de requisição em até 30 segundos, caso contrário será mostrado um alerta de erro e o usuário precisará reiniciar a requisição; 		

5.3.6 Diagramas de Casos de uso

O diagrama de Caso de Uso de Roteirização de Linhas de Transporte (Figura 17) é baseado na descrição do caso de uso CDU-4, apresentando na Tabela 10. Este diagrama exhibe a interação entre os atores Usuário, Sistemas externos (Sistema do Consórcio e Sistema da CBTU) e Admin e os processos inerentes a criação de Roteiros para linhas de ônibus.

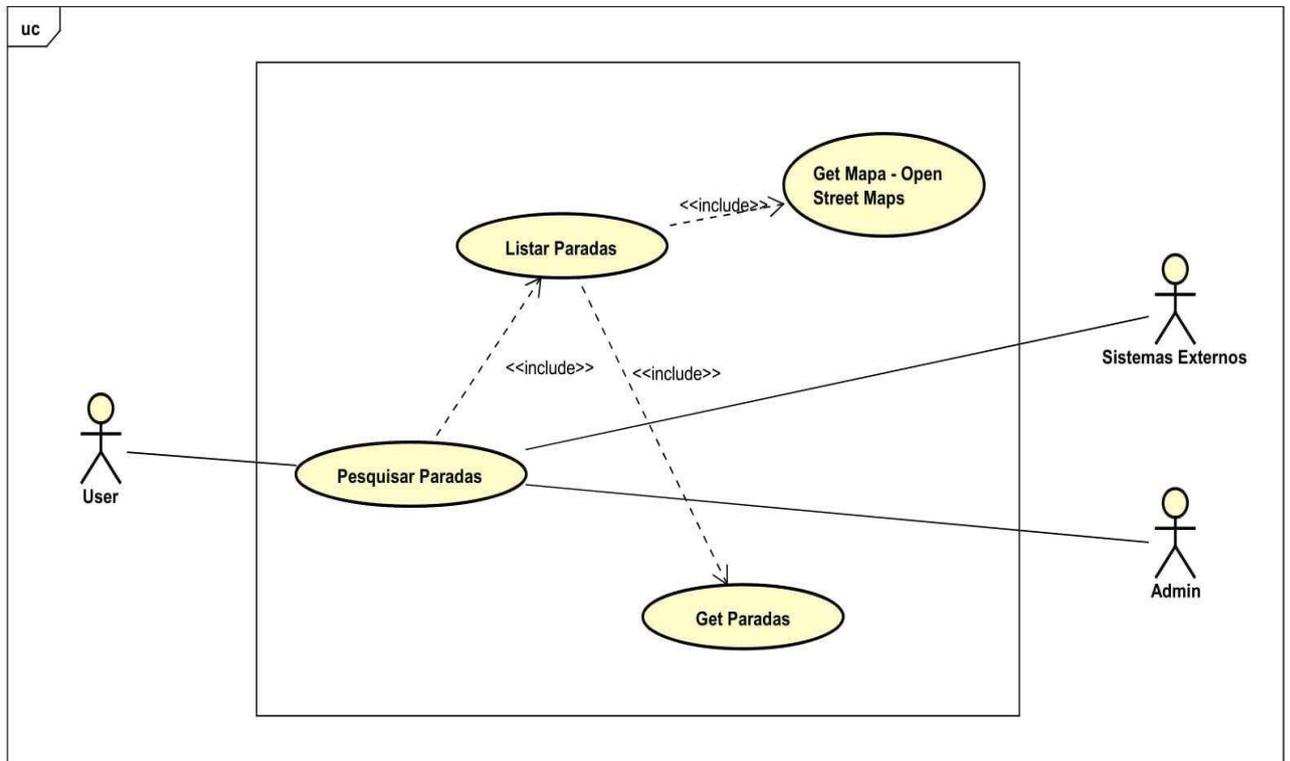
Figura 17 - Diagrama de Caso de Uso de Roteirização de Linhas



Fonte: O Autor (2019)

O diagrama de Caso de Uso de Especializar paradas (Figura 18) é baseado na descrição do caso de uso CDU-1, apresentando na Quadro 4 Este diagrama exhibe a interação entre os atores Usuário, Sistemas externos (Sistema do Consórcio e Sistema da CBTU) e Admin e os processos inerentes a busca de pontos de ônibus, de acordo com parâmetros de localização e proximidade.

Figura 18 - Diagrama de Caso de Uso - Pesquisar Pontos de Ônibus



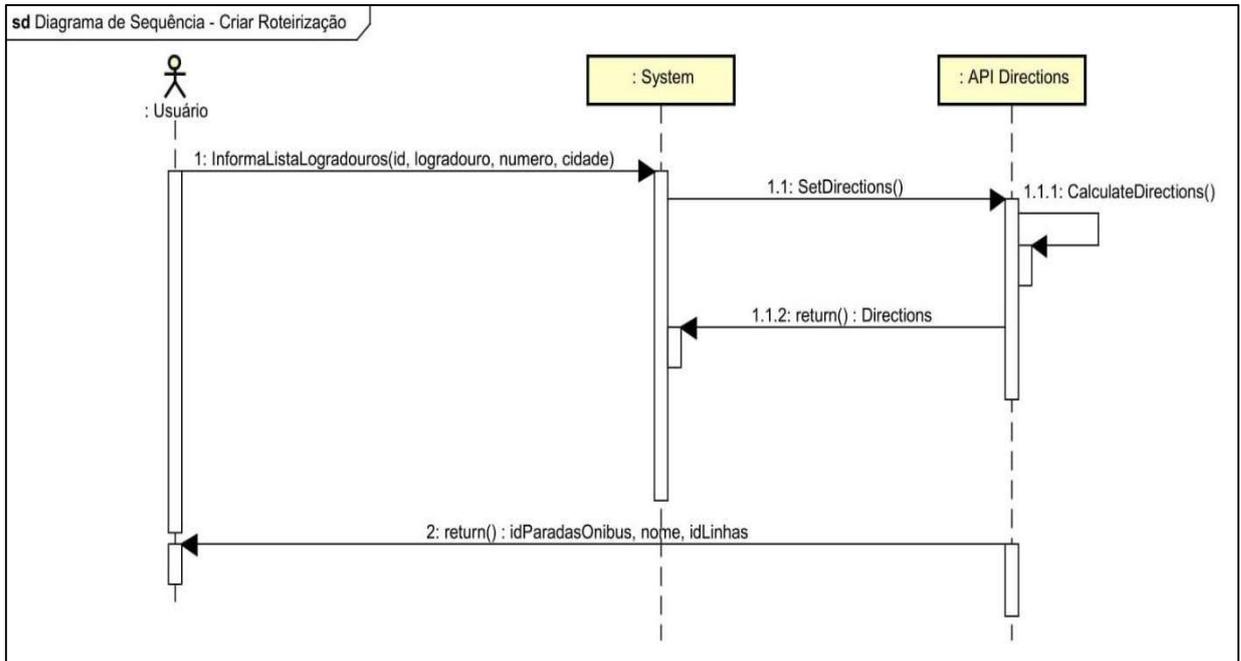
Fonte: O Autor (2019)

5.3.7 Diagramas de Sequência

Os diagramas de sequência descrevem o possível comportamento do sistema nas interações e chamadas de métodos. Observando o fluxo da Figura 19, pode-se constatar o fluxo do ator Usuário informando uma lista de endereços, interpretados pela interface como a chamada do método `InformaListaLogradoures()` e passa como parâmetros as informações disponíveis e não obrigatórias (id, logradouro, numero e cidade). O subsistema de Controle carrega a API desenvolvida com base na Google API Directions e retorna os valores ao Usuário.

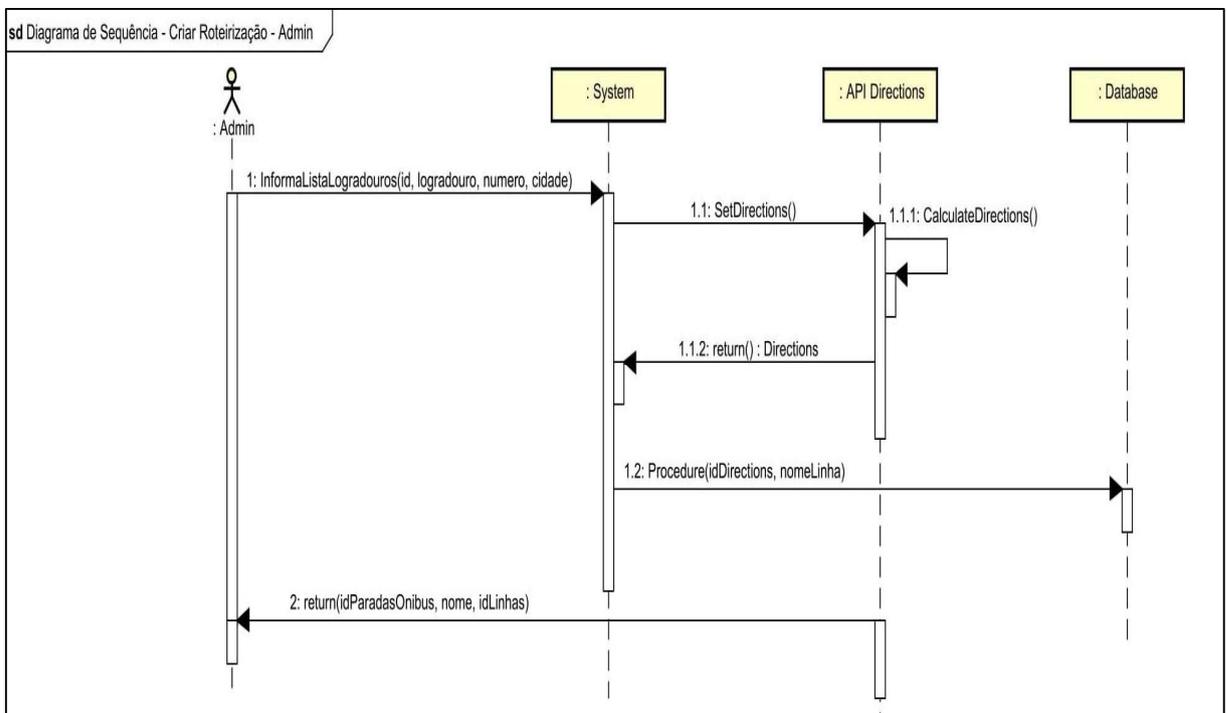
Da mesma forma, o diagrama na Figura 20 os mesmos processos descritos na Figura 19, acrescidos da opção de armazenamento. Este método é liberado através da verificação de privilégios e liberação do sistema. O usuário Admin, então, após a obtenção dos roteiros, pode realizar o arquivamento dentro do BDE através da chamada de uma procedure existente, passando o como informações o identificador da feição e nome da linha criada.

Figura 19 - Diagrama de seqüência: Criar Roteirização de linhas - Usuário



Fonte: O Autor (2019)

Figura 20 - Diagrama de seqüência: Criar Roteirização de linhas - Administrador

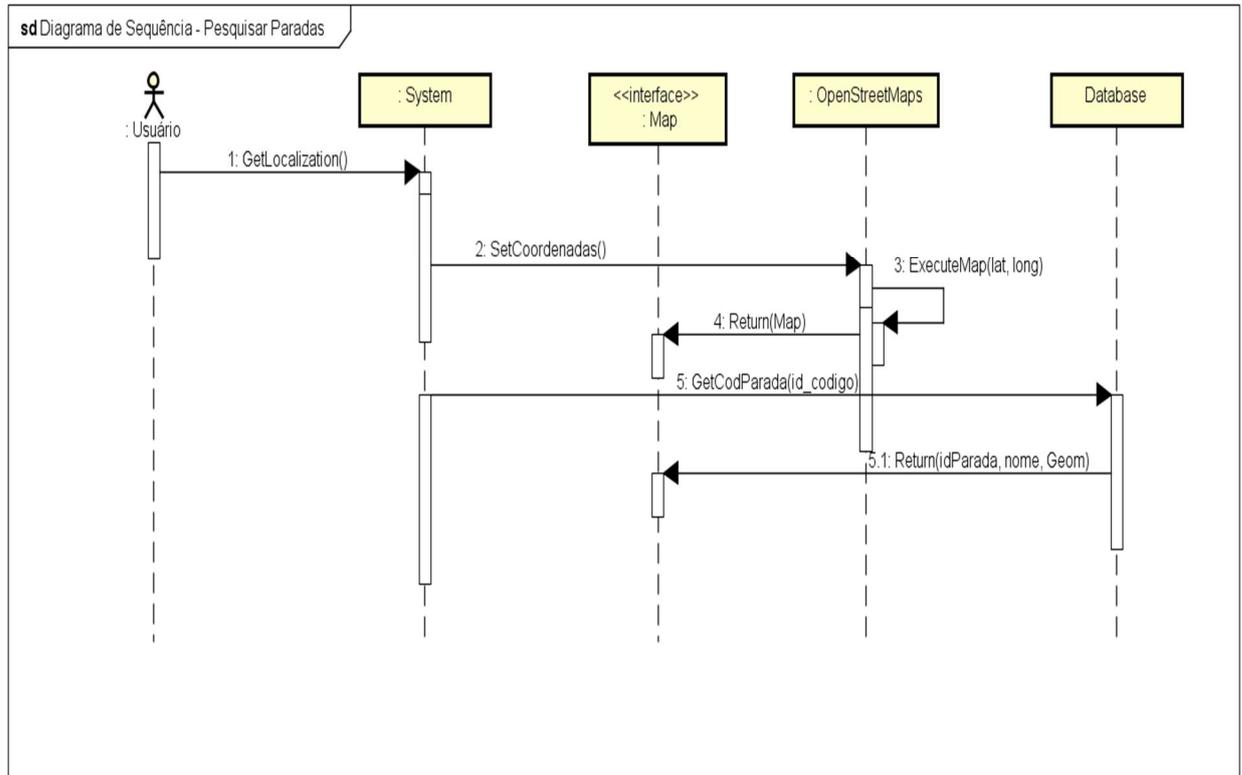


Fonte: O Autor (2019)

A seqüência de pesquisar pontos de embarque é definida na Figura 21. O diagrama exhibe o ator Usuário solicitando informação ao Sistema através do método

InformaEndereco(), passando como parâmetro o endereço ao qual deseja informação ou utilizando o método SetCoordenadas, onde permite ao Sistema coletar sua localização em tempo real em coordenadas geográficas.

Figura 21 – Diagrama de sequência: Pesquisar pontos de embarque



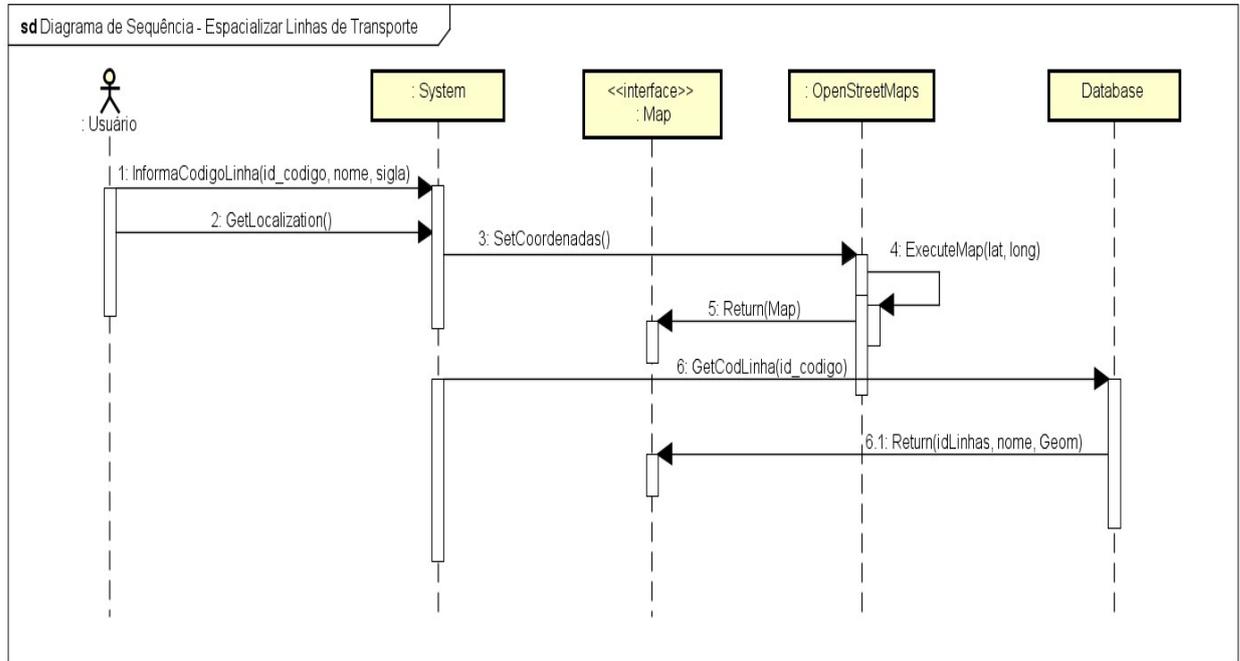
Fonte: O Autor (2019)

As Figuras 21 e 22 exibem similarmente as sequências identificadas na espacialização das linhas de transporte e pesquisa de paradas de transporte, especificando o ator Usuário como principal objeto atuante nos diagramas. O fluxo da do Diagrama de Sequência Pesquisar Pontos de Embarque (Figura 21) pode ser compreendido a partir da solicitação do sistema ao Usuário da sua localização atual através do método GetLocalization(), ao qual o sistema obtém as coordenadas geográficas do usuário em tempo real. Na segunda etapa, o sistema ativa o método SetCoordenadas () que gera uma requisição ao WMS do OpenStreetMaps e obtém como retorno informações sobre o mapa que será exibido após a execução dos métodos 3 e 4.

Findada a segunda etapa, o sistema então solicita ao BDE a partir da execução do método GetCodParada() a lista de linhas de transporte que operam na região, com um raio de abrangência de um quilometro, informado por parâmetro,

que carrega os códigos de linhas de transporte que o usuário deseja espacializar e retorna informações acerca das linhas.

Figura 22 - Diagrama de sequência: Espacializar linhas de transporte



Fonte: O Autor (2019)

O fluxo exibido no Diagrama de Espacializar Linhas de Transporte (Figura 22) segue os mesmos processos listados na Figura 21. Entretanto, traz como diferencial, além do método `GetLocalization()`, a opção do Usuário pesquisar as linhas pelo código, nome ou sigla das linhas de transporte que deseja espacializar.

5.4 PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL PARA TRANSPORTES PÚBLICOS DE PASSAGEIROS

A partir da análise do Modelo de Análise Preliminar e dos artefatos desenvolvidos na etapa de AOO foi possível elaborar o Diagrama de Classes padrão para Transportes Públicos de Passageiros, produto principal desta pesquisa. O modelo conceitual geral é apresentado na Figura 23 e uma versão ampliada deste está presente no Apêndice A.

Este Diagrama tem por objetivo subsidiar a organização das informações acerca de Transportes Públicos e permite apoiar o desenvolvimento dos outros modelos a nível local. O modelo conceitual contém 23 classes de objetos próprias e

9 classes de objetos de outras categorias de informação já instanciadas, classificadas por cores de acordo com a ET-EDGV 3.0, como ilustrado na Tabela 2.

O diagrama conceitual desenvolvido baseia-se na categoria de informação de Estrutura de Mobilidade Urbana (EMU), classificada com base no Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas (MapTopoGE) que são as categorias das classes de objetos normalmente adquiridas nos mapeamentos topográficos de grandes escalas. Esta categoria de informação agrupa as feições que representam estruturas físicas relacionadas aos deslocamentos de pessoas e bens dentro de um espaço urbano.

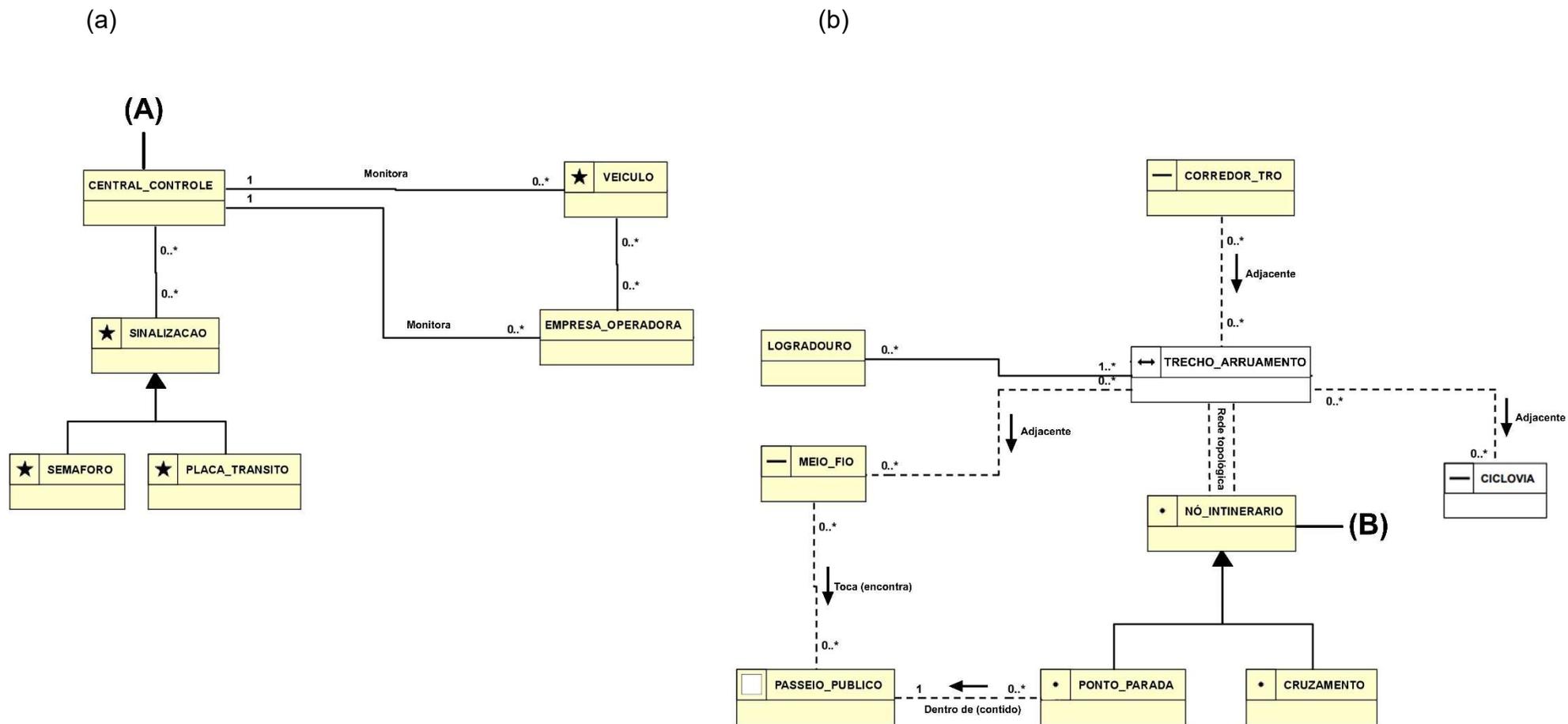
As classes de objetos agrupam instâncias de dados geoespaciais com características e comportamentos comuns. No entanto, os objetos do mundo real podem se relacionar entre si, não importando a escala de adquirida e não se restringindo a uma mesma categoria, dessa forma, é possível reutilizar as classes em diagramas de outras categorias, garantindo integridade e evitando duplicidade de dados.

Com o intuito de facilitar as análises e relacionamentos entre entidades, as classes foram agrupadas considerando suas especificidades e a visão detalhada do modelo conceitual, que traduz as características, são apresentadas nas Figuras 24 e 25, sendo indicadas no modelo geral pelas ligações: (A) Operação; (B) Vias Urbanas, (C) Divisão Político-administrativa; e (D) Linhas de Transporte.

Importante destacar que o modelo OMT-G permite a abstração de Modelos de Redes. Este relacionamento é identificado e ilustrado no modelo pela linha tracejada dupla, conectando as entidades Trecho_Arruamento e Nó_Intinerário.

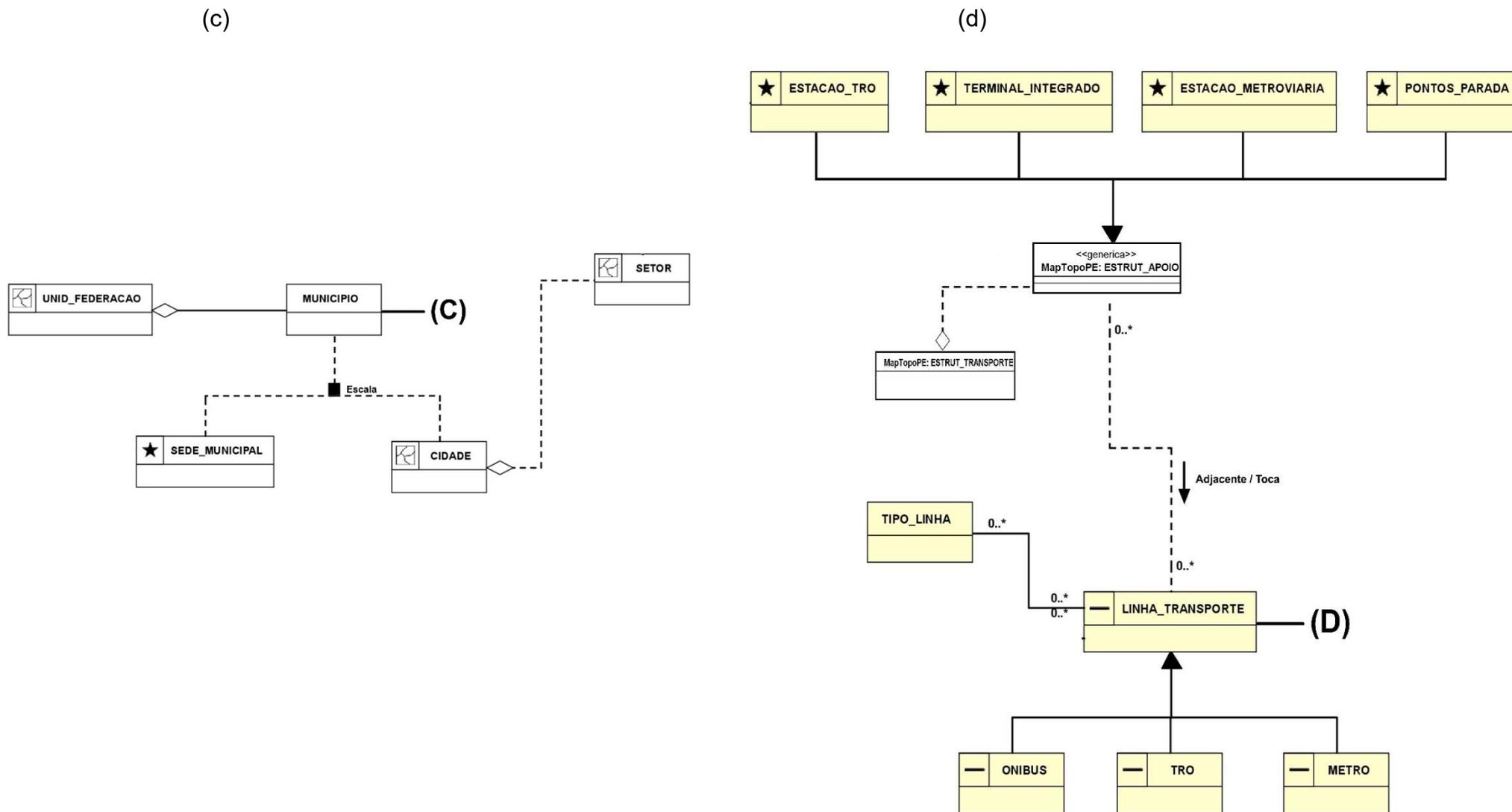
Além desta ilustração, o modelo OMT-G facilita a implementação em modelo físico de BDE, através do software de modelagem OMT-G Designer que possibilita exportar as regras topológicas de Redes em formato SQL e com extensão espacial.

Figura 24 - Detalhe da Modelagem das Classes agrupadas em: (A) OPERAÇÃO e (B) VIAS URBANAS



Fonte: O Autor (2019)

Figura 25 - Detalhe da Modelagem das Classes agrupadas em: (C) DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA e (D) LINHAS DE TRANSPORTE



Fonte: O Autor (2019)

O módulo Operação destaca o agrupamento de classes operacionais e informativas acerca de como poderá ser agregado e analisado os sistemas de controle sobre o transporte. A classe convencional `Central_Control` é apresentada como classe central deste módulo, onde será responsável pelo gerenciamento e monitoramento dos veículos e sinalizações de trânsito, conforme modelagem detalhada na Figura 24a. Estas sinalizações são modeladas como objetos pontuais e especializadas em localização dos semáforos e placas de trânsito.

No módulo Vias Urbanas, apresentado na Figura 24b, são destacados os objetos espaciais de vias urbanas e seus relacionamentos, seguindo a topologia de modelo de Redes. A classe `Trecho_Arruamento` exerce a função principal deste módulo, sendo responsável pelo relacionamento entre os demais módulos do modelo. A partir desta classe, pode-se identificar além da topologia de redes, as entidades como `Ciclovia`, `Meio_Fio` e `Passeio_Público`, que estão diretamente ligadas à dinâmica das vias urbanas no mundo real.

O módulo Divisão Político-Administrativa, apresentado na Figura 25a, exibe entidades necessárias na construção da base cartográfica local para os sistemas de transporte público quanto a perspectiva de entendimento do local de operação e limites administrativos. Estas classes são implementadas por outras classes presentes na ET-EDGV 3.0.

Por último, o Módulo de Linhas de Transporte, apresentado na Figura 25b, abstrai as principais entidades relacionadas ao sistema de transporte público de passageiros, identificando as linhas de transporte e as estruturas de apoio utilizadas. Estas estruturas são especializadas, para o objeto de estudo desta pesquisa, em `Estação TRO`, `Terminais integrados`, `Estação ferroviária` e `os Pontos de Parada para ônibus urbanos`.

Portanto, nesta pesquisa, a modelagem proposta aborda as principais entidades identificadas nos processos de AOO, descritos nas etapas de domínio da pesquisa e abstração do mundo real, tomando como base a modelagem UML e o modelo OMT-G padrão para MDE no território brasileiro.

5.4.1 Dicionários de Dados

A definição dos dicionários de dados é parte fundamental no processo de documentação da AOO e construção do Diagrama de Classes, visto que é o resultado da fase de análise das necessidades existentes em termos de dados geoespaciais e

permite a definição completa e organizada dos detalhes físicos de um modelo. Esta etapa descreve a definição preliminar de doze dicionários de dados para as entidades, de acordo com as especificações e modelo padrão da Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais 3.0 (ET-EDGV, 2018).

Entre a **Tabela 6** e **Tabela 16** apresentam os dicionários de dados das entidades modeladas no sistema e como as classes devem ser implementadas no BDE. Deve-se destacar a inclusão da primitiva geométrica apresentada em cada entidade (simbologia apresentada pelo modelo OMT-G) que tem por objetivo facilitar a distinção entre as classes georreferenciadas e as classes tradicionais.

O objetivo principal é esclarecer o escopo e os tipos de dados associados aos objetos do sistema e ajudar a evitar a duplicação de dados, inconsistências e falta de integridade durante a codificação de metadados e gerenciamento de dados. Neste exemplo, é facilmente identificado qual a denominação da entidade, uma breve descrição e sua perspectiva geográfica, baseada na simbologia definida no Modelo OMT-G.

Tabela 6 - Entidade da Base Cartográfica - UnidFederação

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
UnidFederação <i>From Localidade</i>	Polígono referente à unidade político-administrativa, criada através de leis ordinárias do Congresso Nacional e sancionada pelo Presidente da República.			
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoUnidade	Serial	10	Código identificador da unidade da federação.	Serial
nome	Alfanumérico	80	Nome completo da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
geocode	Alfanumérico	15	Código criado pelo IBGE para identificar as unidades Político Administrativas da Divisão Territorial Brasileira e suas subdivisões operacionais (setor censitário).	A ser preenchido
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido
ano_referencia	Inteiro	04	Ano de referência da alteração, atualização ou instalação do município	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 7 - Entidade da Base Cartográfica - Município

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
Município <i>From Localidade</i>	Ponto ou Polígono referente à unidade político-administrativa, criada através de leis ordinárias das Assembleias Legislativas de cada Unidade da Federação e sancionada pelo Governador.			 
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoMunicipio	Serial	10	Código identificador do município.	Serial
nome	Alfanumérico	80	Nome completo da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim
				Não
geocode	Alfanumérico	15	Código criado pelo IBGE para identificar as unidades Político Administrativas da Divisão Territorial Brasileira e suas subdivisões operacionais (setor censitário).	A ser preenchido
codigoUnidFederacao	Inteiro	-	Código identificador do estado ao qual o município está referenciado.	A ser preenchido
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido
ano_referencia	Inteiro	04	Ano de referência da alteração, atualização ou instalação do município	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 8 - Entidade da Base Cartográfica - Área Urbana Isolada

Classe		Descrição			Primitiva Geográfica
Setor <i>From Localidade</i>		Ponto ou Polígono correspondente à área definida por lei municipal onde é subdividida a área municipal.			 
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio	
codigoSetor	Serial	10	Código identificador do setor urbano.	Serial	
nome	Alfanumérico	80	Nome completo da instância.	A ser preenchido	
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não	
Rpa	Alfanumérico	15	Indica se a localidade está associada a algum tipo de região administrativa.	A ser preenchido	
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido	
codigoMunicipio	Inteiro		Código identificador do município ao qual o município está referenciado.	A ser preenchido	

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 9 - Entidade da Base Cartográfica - Bairro

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
Bairro <i>From Localidade</i>	Polígono correspondente à área definida por lei municipal que define os limites de cada bairro de acordo com critérios urbanísticos e geomorfológicos.			
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoBairro	Serial	10	Código identificador do município.	Serial
nome	Alfanumérico	80	Nome completo da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido
codigoMunicipio	Inteiro		Código identificador do município ao qual o município está referenciado.	A ser preenchido
rpa	Alfanumérico	50	Região político-administrativa ao qual o bairro encontra-se, de acordo com lei municipal.	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 10 - Entidade da Base Cartográfica – Via Urbana

Classe		Descrição		Primitiva Geométrica
ViaUrbana		Conjunto de elementos agregados envolvendo trechos viários urbanos, lugar de circulação pública de veículos e pedestres.		—
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoViaUrbana	Serial	10	Código identificador da via urbana.	Serial
nome	Alfanumérico	80	Nome completo da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 11 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Pontos de Parada

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
PontosParadas	Designação de um local de transporte público de ônibus onde os passageiros embarcam ou desembarcam.			
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoParadaOnibus	Inteiro	10	Código identificador do ponto de ônibus, de acordo com o Sistema do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoLinhas	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de ônibus que utilizam o ponto.	A ser preenchido
codigoBairro	Inteiro		Código identificador do bairro ao qual o ponto está referenciado.	A ser preenchido
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido
ano_referencia	Inteiro	04	Ano de referência da alteração, atualização ou instalação do ponto de ônibus.	A ser preenchido
Cobertura	Alfanumérico	20	Indica qual tipo de cobertura existe no ponto. Ex. Estrutura coberta, ausência, estrutura danificada, entre outros.	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 12 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público– Parada de Ônibus

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
Linhas_Onibus	Designação informações de linhas de operação do transporte público de ônibus.			—
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoLinhaOnibus	Inteiro	10	Código identificador das linhas de ônibus, de acordo com o Sistema de transporte do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoEmpresa	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de ônibus que utilizam o ponto.	A ser preenchido
codigoTarifa	Inteiro		Código identificador do bairro ao qual o ponto está referenciado.	A ser preenchido
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido
codigoltinerario	Inteiro	10	Indica qual o itinerário que a linha opera no sistema.	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 13 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Itinerário

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
Itinerario	Percurso realizado pelas linhas de ônibus/metrô, sentido, indicando todos os pontos paradas/estações atendidos e terminais integrados utilizados.			
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoltinerario	Inteiro	10	Código identificador do itinerário, de acordo com o Sistema de transporte do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoLinha	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de ônibus que utilizam o itinerário.	A ser preenchido
codigoEmpresa	Inteiro	5	Código identificador das empresas ao qual o itinerário está referenciado.	A ser preenchido
sentidoOperacao	Alfanumérico	50	Designa o sentido viário que o itinerário apresenta.	A ser preenchido

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 14 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Terminais Integrados

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
TerminaisIntegrados	Locais de paradas que possibilitam uma multiplicidade de ligações de origem-destino, através de viagens modais ou multimodais.			 
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoTerminal	Inteiro	10	Código identificador do terminal, de acordo com o Sistema de transporte do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoLinha	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de ônibus que operam no terminal.	A ser preenchido
codigoEmpresa	Inteiro	10	Código identificador das empresas que operam no terminal.	A ser preenchido
sentidoOperacao	Alfanumérico	50	Designa o sentido viário que o itinerário apresenta.	A ser preenchido
multimodal	Boolean	-	Indica se o terminal possibilita a parada de passageiros de ambos serviços (ônibus e metrô) que possibilitam multiplicidade de ligações de origem-destino, através de viagens modais ou multimodais e troca de sistema.	Sim Não

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 15 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Estações

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
Estacoes	Designação de um local de transporte público de trens/metrô onde os passageiros embarcam ou desembarcam.			 
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoEstacao	Inteiro	10	Código identificador da estação, de acordo com o Sistema de transporte do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoLinha	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de trens/metrô que operam na estação.	A ser preenchido
codigoEmpresa	Inteiro	10	Código identificador das empresas que operam na estação.	A ser preenchido
sentidoOperacao	Alfanumérico	50	Designa o sentido viário que o itinerário apresenta.	Tradicional Inverso Fim de Semana Bacurau
terminalDuplo	Boolean	-	Indica se a estação possibilita a parada de passageiros de ambos serviços (ônibus e metrô) que possibilitam multiplicidade de ligações de origem-destino, através de viagens modais ou multimodais e troca de sistema.	Sim Não

Fonte: O Autor (2019)

Tabela 16 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público – Estações TRO

Classe	Descrição			Primitiva Geométrica
EstacoesTRO	Designação de um local de transporte público de ônibus onde os passageiros embarcam ou desembarcam do serviço de TRO – Transporte Rápido por Ônibus.			
Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição	Domínio
codigoEstacao	Inteiro	10	Código identificador da estação, de acordo com o Sistema de transporte do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido
geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoLinha	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de trens/metrô que operam na estação.	A ser preenchido
sentidoOperacao	Alfanumérico	50	Designa o sentido viário que o itinerário apresenta.	Tradicional Inverso Fim de Semana Bacurau

Fonte: O Autor (2019)

5.5 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO FÍSICO DE BDE

Nesta etapa, a implementação do modelo físico do BDE utiliza o modelo de dados conceitual apresentado na seção 5.4 e estrutura elementos, tais como: nomes físicos de tabelas, de colunas, tipos de campos, entre outros. Para o desenvolvimento desta base foi utilizado PostgreSQL 9.4 com a extensão espacial PostGIS 2.3. Para tal, a estrutura criada (Disponível no Apêndice B) utiliza como base os *script* SQL gerados pelo software OMT-G Designer, onde são descritos os atributos, tipo de dados e topologias.

A Figura 26 exibe como exemplo a criação da tabela linha de transporte, implementado a partir do *schema* mobi. Os demais *script* de criação são apresentados no Apêndice B. A linha 4 indicada na figura exibe o comando básico SQL para criação da tabela, entre as linhas 5 e 11 são definidos os atributos e informações importantes como os tipos de dados, tamanho e parâmetro para não permissão de valores nulos. As linhas 12 e 13 trazem a estrutura para declaração das chaves primárias e secundárias na tabela (referenciando a tabela estrangeira Tipo_linha). Por fim, é exibido na linha 16 uma modificação na tabela, inserindo a coluna de geometria e associando a tipologia linha e o sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000.

Figura 26 – Exemplo do *script* de criação da tabela Linha_Transporte.

```

1  -- -----
2  -- Table LINHA_TRANSPORTE
3  -- -----
4  CREATE TABLE mobi.LINHA_TRANSPORTE (
5      id serial NOT NULL,
6      sigla varchar(10),
7      nome varchar(50),
8      inicio_op date,
9      pessoas_aten real,
10     tipo_modal varchar(3),
11     id_tipolinha int NOT NULL,
12     PRIMARY KEY (id),
13     FOREIGN KEY (id_tipolinha) REFERENCES mobi.tipo_linha(id)
14 );
15
16 ALTER TABLE mobi.LINHA_TRANSPORTE ADD COLUMN geom geometry(LineString, 4674);

```

Visando o estabelecimento de segurança e consistência na inserção dos dados espaciais foram estabelecidas alterações no *script* de criação de tabelas a fim de adicionar regras de integridade que garantam estas características. Dentre as regras criadas, destaca-se o estabelecimento do esquema mobi, onde é possível restringir o acesso e modificação dos dados aos usuários por autenticação. Outra importante modificação é a criação do usuário mobiususer, garantindo propriedade, estabelecendo condições de acesso e modificação aos dados armazenados. A estrutura do BDE criado é ilustrada na Figura 27 através da utilização do ambiente PSQL.

Figura 27 - Estrutura do modelo físico do BDE MobiRecife

```

1  Server [localhost]: localhost
2  Database [postgres]: mobirecife
3  Port [5432]: 5432
4  Username [postgres]: postgres
5  Senha para usuário postgres:
6
7  mobirecife=# \dt mobi.
8              Lista de relacoes
9  Esquema |          Nome          | Tipo |  Dono
-----+-----+-----+-----
11 mobi    | central_controle      | tabela | mobiususer
12 mobi    | ciclovia               | tabela | mobiususer
13 mobi    | corredor_tro          | tabela | mobiususer
14 mobi    | cruzamento           | tabela | mobiususer
15 mobi    | empresa_operadora     | tabela | mobiususer
16 mobi    | estacao_metroviaria   | tabela | mobiususer
17 mobi    | estacao_tro           | tabela | mobiususer
18 mobi    | linha_transporte      | tabela | mobiususer
19 mobi    | logradouro            | tabela | mobiususer
20 mobi    | meio_fio              | tabela | mobiususer
21 mobi    | municipio             | tabela | mobiususer
22 mobi    | passeio_publico       | tabela | mobiususer
23 mobi    | setor                 | tabela | mobiususer
24 mobi    | terminal_integrado    | tabela | mobiususer
25 mobi    | tipo_linha            | tabela | mobiususer
26 mobi    | trecho_intinerario    | tabela | mobiususer
27 mobi    | unid_federacao        | tabela | mobiususer
28 mobi    | veiculo               | tabela | mobiususer
29 (18 registros)

```

Fonte: O Autor (2019)

A etapa de geração e inserção dos dados no BDE engloba a organização dos dados espaciais anteriormente editados e a conversão desses dados para o ambiente do SIG. Para este tratamento foi definido o software QGIS 2.18 por ser gratuito, ter facilidade de conexão com o PostgreSQL 9.4 e oferecer todas as ferramentas necessárias.

A inserção dos dados seguiu através do o *plug-in Postgis shapefile and dbf loader* que permite a importação de arquivos *shapefiles* previamente tratados em ambiente SIG para o formato de tabelas no banco de dados gerenciado pelo PostgreSQL. Após a etapa de inserção dos dados em suas respectivas tabelas foi realizado uma verificação de integridade com testes de consulta e relacionamentos entre as chaves primárias e estrangeiras.

A finalidade desta fase foi elaborar um BDE capaz de armazenar, manipular, analisar e apresentar os dados espaciais coletados para a área de estudo e possibilitar a integração deste banco a qualquer tipo de servidor de mapas web ou SIG.

Na etapa de construção do BDE não foi contemplado a inserção da totalidade de dados das feições (atributos alfanuméricos), visto a imensa quantidade e pouco recurso temporal para tratá-los e validá-los. Portanto, algumas feições apresentadas são basicamente visuais, necessitando de uma posterior etapa de edição e agregação de atributos nas tabelas associadas a estes dados espaciais.

Os dados geográficos matriciais foram inseridos através da utilização do *plug-in OpenLayers*, aplicativo integrado ao QGIS que disponibiliza informação geográfica através de servidores de mapas.

5.6 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO APLICATIVO WEBGIS

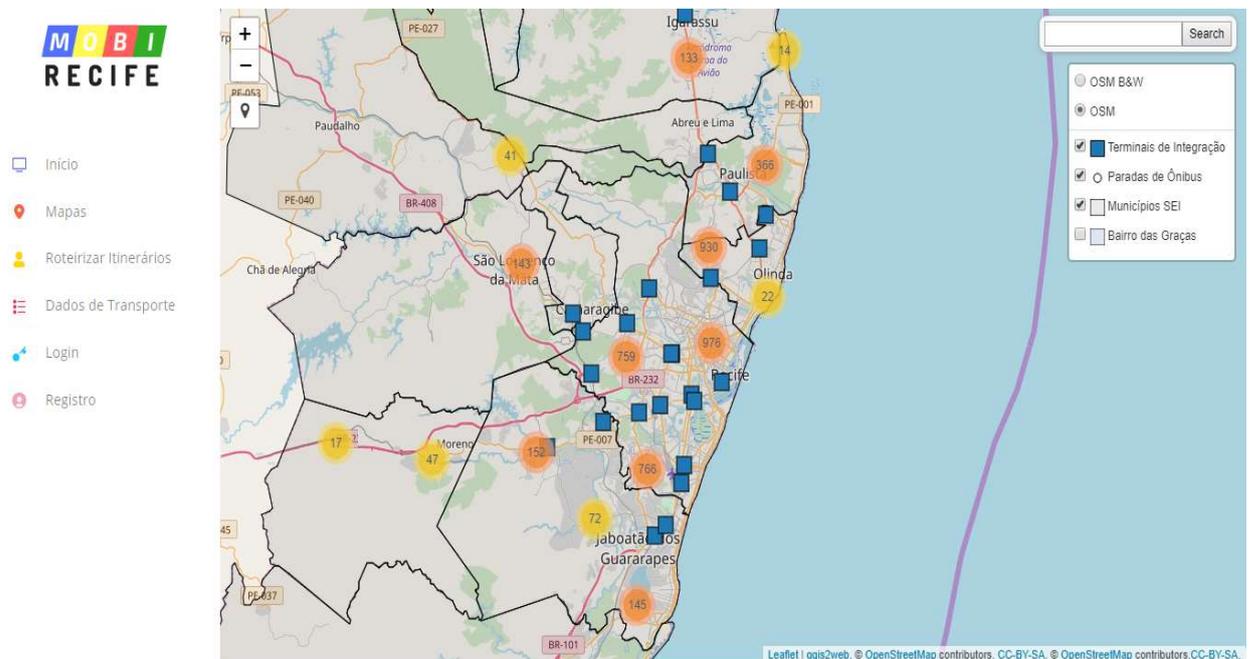
O desenvolvimento do sistema para utilização via Web apresenta como principal vantagem a possibilidade de acesso a partir de inúmeros usuários simultaneamente, possibilitando a disseminação de informação com um ótimo custo-benefício. No caso de estudo desenvolvido, a aplicação WebGIS possibilita aos usuários, gestores e mantenedores o acesso à informação de forma rápida e eficiente, em detrimento aos atuais meios de disponibilização atualmente adotados pelas empresas gestoras.

A aplicação de disponibilização dos dados foi desenvolvida utilizando o *framework* Leaflet. O principal objetivo desta ferramenta é permitir o acesso aos dados de forma interativa aos usuários finais, sendo permitido manipular diferentes níveis de informações de forma rápida e atualizada de acordo com a necessidade e interesse. O *WebGIS* MobiRecife proporciona uma ferramenta interativa de disponibilização aos usuário, permitindo melhor entendimento e identificação dos planos de informação oferecidos.

A tela inicial do sistema, como pode ser visualizado na Figura 28, apresenta o menu de operações, situado na seção esquerda, e o mapa principal, onde são apresentados os principais planos de informação disponíveis na aplicação. O menu lateral dispõe de botões navegáveis onde o usuário pode acessar as opções:

- **Início:** Tela principal do sistema, onde é apresentado um mapa generalizado com planos de informação.
- **Mapas:** Módulo em construção, onde serão gerados mapas em diversos formatos para disponibilização e impressão pelos usuários;
- **Roteirizar itinerários:** Módulo onde o usuário poderá simular roteiros de navegação na área de estudo indicando o ponto de partida, paradas e chegada;
- **Dados de transporte:** Módulo onde são disponibilizadas as principais informações acerca das linhas de transporte público de passageiros que operam através do GRCT e CBTU;
- **Login/Registro:** Módulo onde é possível o usuário acessar o sistema operacional, simular as roteirizações e sugerir modificações, armazenamento, entre outros.

Figura 28 - Tela inicial do aplicativo WebGIS MobiRecife



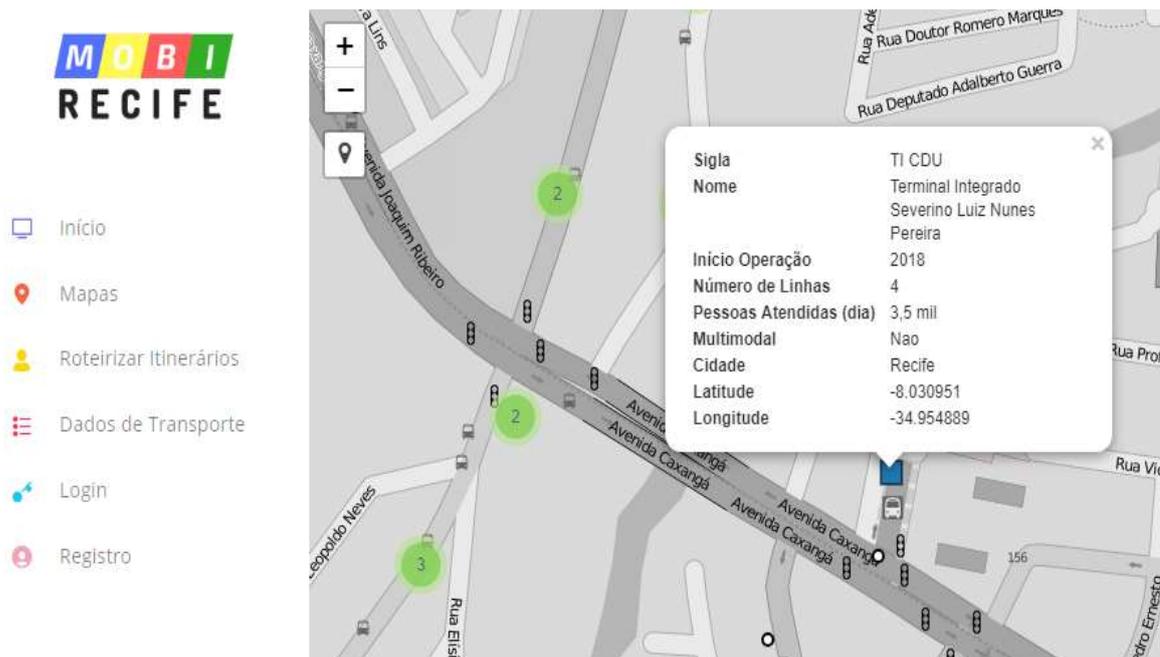
Fonte: O Autor (2019)

Para visualização dos planos de informação selecionados, o usuário poderá

selecionar na aba de camadas a visibilidade e as opções de servidores de mapas disponíveis. Dessa forma as feições são facilmente identificadas no aplicativo. Ademais, é importante destacar funcionalidades no mapa, tais como: a pesquisa de logradouros na ferramenta *Search*, disposta no canto superior direito; o controle da escala geográfica, através dos botões no canto superior esquerdo; e a geolocalização em tempo real, onde o usuário permite ao sistema coletar sua informação espacial e localizá-la dentro do mapa, função localizada abaixo do controle de escala.

O mapa interativo permite que o usuário a qualquer momento busque informações diretamente nas camadas de informação, clicando sobre as feições especializadas e as recebendo como uma janela de *pop-up*. Este processo é ilustrado na Figura 29.

Figura 29 - Exemplo de obtenção de informação através das camadas e *pop-up*



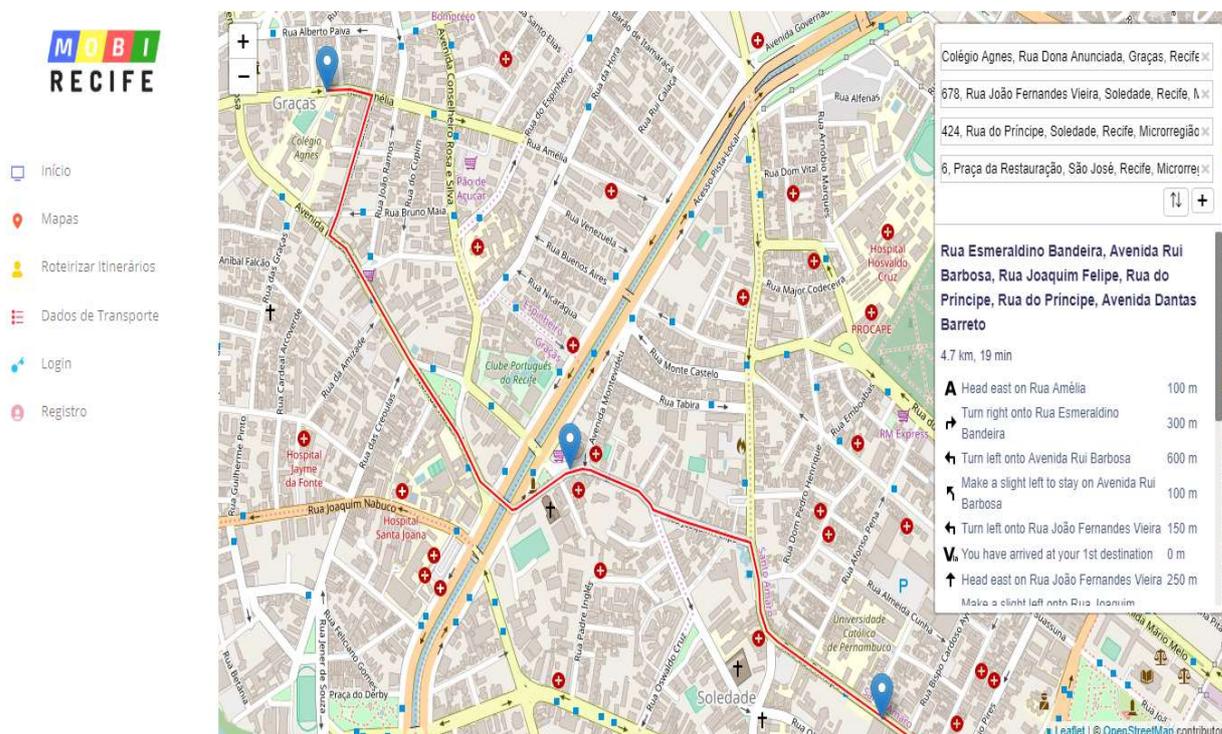
Fonte: O Autor (2019)

O módulo Roteirização de itinerários, exibido na Figura 30, é outra ferramenta importante na geração de informação e destaca-se pela interatividade com o usuário. O funcionamento básico é informar o ponto de partida ou sua localização atual através da geolocalização, os pontos de interesse os quais serão direcionados e o ponto de chegada onde o sistema encerrará o roteiro e disponibilizará ao usuário todas as direções, medidas métricas e descrição dos elementos. Como

procedimentos futuros, está a disponibilização para download e geração do arquivo GPX para uso em sistemas de navegação por satélites.

A partir das análises e roteirizações criadas é possível gerar diversos mapas temáticos, associando os diferentes planos de informação importados do BDE. É importante destacar que a constante atualização dos dados possibilita uma eficaz ferramenta para planejamento de rotas e políticas públicas através da análise e tratamento destas informações.

Figura 30 - Exemplo de roteirização utilizando pontos de interesse.



Fonte: O Autor (2019)

Com o intuito de disponibilizar acesso às informações de modo eficiente, foi desenvolvida uma interface tabular (como pode ser vista na Figura 31) a fim de organizar, facilitar a busca e uso. Essa base é composta por informações básicas sobre as linhas de transporte público, cedidas pelo GRCT, tais como: código identificado da linha, nome padrão, tarifa cobrada por linha, empresa operadora e secundária e se existem diferentes itinerários. Em etapas posteriores do desenvolvimento, o usuário poderá selecionar a linha pelo código e será gerado o itinerário automaticamente, sendo possível salvá-lo em diferentes formatos pré-definidos.

Figura 31 - Módulo de disponibilização de dados referentes às linhas de transporte

Dados das linhas de transporte público no Recife

Procure as informações da sua linha de transporte público.

Show entries Search:

ID	Nome	Tarifa	Empresa	Empresa Secundária	Itinerário
11	PIEDADE / DERBY	R\$ 3,20	Borborema Imperial		Mais de um
116	CIRCULAR (PRINCIPE)	R\$ 3,20	Metropolitana		Mais de um
1909	TI PELOPIDAS / TI JOANA BEZERRA	R\$ 3,20	Consórcio Conorte		Único
1913	TI PE-15 / TI JOANA BEZERRA	R\$ 3,20	Consórcio Conorte		Único
1977	TI PELOPIDAS (CONDE DA BOA VISTA)	R\$ 3,20	Consórcio Conorte		Único
1982	CONJUNTO BEIRA MAR / DERBY	R\$ 4,40	Consórcio Conorte		Mais de um
1987	RIO DOCE (PRINCIPE)	R\$ 4,40	Consórcio Conorte		Único
2040	CDU / BOA VIAGEM / CAXANGA	R\$ 3,20	Mobibrasil Expresso		Único
2426	TORROES (BACURAU)	R\$ 3,20	Mobibrasil Expresso		Único
2427	MONSENHOR FABRICIO (BACURAU)	R\$ 3,20	Mobibrasil Expresso		Único

Showing 1 to 10 of 63 entries Previous 2 3 4 5 6 7 Next

Fonte: O Autor (2019)

O módulo de autenticação foi desenvolvido a fim de propiciar o cadastro de usuários, a segurança e restrição ao sistema. O usuário pode assim utilizar contas válidas previamente cadastradas em sistemas, como o Github ou Google, ou criar seu cadastro utilizando nome, e-mail válido, senha e aceitar os acordos de privacidade empregados no site. Este módulo pode ser visualizado na Figura 32.

Figura 32 - Módulo de autenticação para acesso ao sistema MobiRecife

Mobi Recife

- Início
- Mapas
- Roteirizar Itinerários
- Dados de Transporte
- Login
- Registro

Entre com

Ou entre com suas credenciais

Nome

E-mail

Senha

Força de senha: **strong**

Eu estou de acordo com a Política de Privacidade

Fonte: O Autor (2019)

6 CONCLUSÕES

A pesquisa desenvolvida aborda um tema relevante visto a necessidade de gestão da mobilidade urbana em grandes cidades brasileiras. Neste sentido, enfatizou-se que estas cidades, em especial, devido a sua alta densidade populacional e demanda de serviços, implicam numa maior urgência de atenção na implantação de políticas para acesso e estímulo ao uso de sistemas de transportes públicos de passageiros.

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem inferir novas abordagens de gestão dos equipamentos e serviços urbanos, através da aplicação de técnicas de AOO e abstração de dados no desenvolvimento de aplicativos e sistemas confiáveis para transportes públicos em grande escala.

Destaca-se a importância da análise dos dados sistemática ao desenvolvimento de ferramentas e aplicativos, fator indispensável à qualidade, robustez do sistema, documentação dos procedimentos, como também na identificação de potenciais falhas e incoerências antes da etapa de programação.

Os dados espaciais são um fator preponderante dentro das análises de redes, como os sistemas de transporte, uma vez que sua investigação e aplicação destas informações são a base necessária para subsidiar a tomada de decisão de gestores municipais, objetivando o bem estar dos usuários do sistema. É necessário destacar os problemas de disponibilização e utilização dos dados espaciais, visto que as empresas mantenedoras não dispõem de portais eletrônicos para acesso dos usuários e pesquisadores.

A modelagem desenvolvida, no padrão OMT-G, segue e incorpora as especificações padronizadas pela INDE e com isto pode ser aplicada ao desenvolvimento de sistemas e bases de dados com perspectiva em transportes públicos de passageiros em nível regional. Este modelo possibilita utilizar as especificações de níveis superiores e estabelece padrões para níveis inferiores, já que a utilização de um modelo conceitual padrão garante a sua reutilização, permitindo um referencial para outras aplicações, refinamentos, bem como, para adaptações a realidade específica.

A utilização deste modelo conceitual, em conjunto com o desenvolvimento integrado a ET-EDGV 3.0 traz como benefícios: a padronização dos dados com perspectiva em transportes públicos; a facilidade de agregação de novas

informações e de atualização; a possibilidade de geração de base cartográfica contínua e a economia de recursos públicos; e o aproveitamento de dados estruturados pelos padrões adotados pela CONCAR ou um guia para a conversão destes dados.

Por fim, conclui-se que o uso das tecnologias da geoinformação empregadas em conjunto com métodos de AOO possibilita obter uma nova perspectiva através da união de informações de transporte público e análise de objetos, e constitui uma excelente técnica para criação de ferramentas para a aplicação de políticas públicas de gestão do espaço urbano.

REFERÊNCIAS

- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, pp. 3-21, 2015.
- ANDRADE, B. A. Representando o patrimônio territorial com tecnologia da geoinformação: Experimento em Santa Leopoldina / Espírito Santo. 154 F. **Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Espírito Santo**. 2015.
- ANDRADE, J. N.; GALVÃO, D. C. O conceito de smart cities aliado à mobilidade urbana. **Humanæ**, v. 10, n. 01. 2016.
- AMBLER, S. Agile Modeling. **John Wiley & Sons**. 2002.
- ARAÚJO, M. Plano Diretor do Recife: o desafio de integrar infraestrutura e mobilidade. Folha de Pernambuco, Plano Diretor, Recife, 8 ago. 2018. Plano diretor. 2018.
- BATINI, C.; CERI, S.; NAVATHE, S. B. Conceptual database design: an entity-relationship approach. **Redwood**: Benjamin/Cummings, 1992.
- BERNHARDSEN, T. Geographic Information System. **GeoInformation International**, Cambridge, 1995.
- BEZERRA, E. Princípios de análise e projeto de sistemas com UML. Rio de Janeiro: **Eisevier**, 2007.
- BOOCH, G. Object-oriented Analysis and Design. **Addison Wesley**: 2nd ed. 1994.
- BORBA, R. L. R.; MOTA, G. L. A.; BRITO, J. L. N. S. Metodologia para Representação da Estrutura de Dados Geoespacial Vetorial da Mapoteca Nacional Digital em Bancos de Dados Geográficos Relacionais. In: **Biblioteca online do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**, 2008.
- BORGES, K.; DAVIS JR., C.; Modelagem de Dados Geográficos. In: CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. (Ed). **Introdução à Ciência da Geoinformação**, São José dos Campos, INPE, 2004.
- _____; DAVIS JR, C. A.; LAENDER, A. H. F. Modelagem Conceitual de Dados Geográficos. In: CASANOVA, et. al. **Banco de Dados Geográficos**. Curitiba: Editora MundoGEO, 2005.
- _____, K. A. V.; DAVIS JR, C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: an object-oriented data model for Geographic Applications. **Geoinformatica**, v.5, n.3. 2001.
- _____. Modelagem de Dados Geográficos: Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas. 139 f. **Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte. 1997.
- BRASIL - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Plano de Ação para implantação da INDE: Infraestrutura nacional de dados espaciais. **Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR)**, 203 p. Rio de Janeiro (2010).

_____ - **Lei 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2001.

_____ - **Lei 12.587, de 3 de janeiro de 2012**. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2012.

_____ - **Lei n. 13.465, de 11 de julho de 2017**. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2017a.

_____ - Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0). **Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR)**, 43 p. Rio de Janeiro, 2017b.

CALVILLO, C. F.; SÁNCHEZ-MIRALLES, A.; VILLAR, J. Energy management and planning in smart cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 55, 273–287, 2016.

CAMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C.; MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, São Paulo, 1995. 205p.

CARDOSO, C. E. P. Análise do transporte coletivo urbano sob a ótica dos riscos e carências sociais. **Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Serviço Social, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo**, São Paulo, SP. 2008.

CARLOS, A. F. A. A (Re)produção do Espaço Urbano. São Paulo: **Edusp**, 1994.

CARVALHO, G. N. Proposta de tratamento e modelagem de dados espaciais para uso em infraestrutura de dados espaciais – IDEs: Estudo de caso de macrobentos para a área costeira da baixada santista. 120 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo**, São Paulo. 2013.

CARVALHO, I. R. U. F. Análise à mobilidade inteligente urbana de pessoas: Caso da cidade do Porto. 132 f. **Dissertação (Mestrado em Gestão) - Universidade Católica do Porto**, Porto. 2017.

CESANA, M.; REDONDI, A. E. C. IoT Communication Technologies for Smart Cities. In **Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities: Urban Design to IoT Solutions**, Springer, 2017.

CHEN, M; ZHANG, H.; LIU, W.; ZHANG, W. The Global Pattern of Urbanization and Economic Growth: Evidence from the Last Three Decades. **Plos One** 9, 2014.

CHEN, P. P. The entity-relationship model - toward a unified view of data. **ACM Transactions on Database Systems (TODS)**, v. 1, 1976.

COAD, P.; YOURDON, E. Análise baseada em objetos. Rio de Janeiro, **Campus**, 1997.

CORRÊA, R. L. O Espaço Urbano. São Paulo: **Editora Ática**, 1995.

DAVIS JR, C. A. **Object Modeling Technique for Geographic Applications - OMT-G**. 2018. Disponível em: <

<https://homepages.dcc.ufmg.br/~clodoveu/DocuWiki/doku.php?id=omtg>. Acesso em: 12 set. 2018.

_____; LAENDER, A. H. F. Extensões ao modelo OMT-G para produção de esquemas dinâmicos e de apresentação. In: **Workshop Brasileiro de Geoinformática**, São Paulo. Anais, São José dos Campos. 2000.

DANTAS, L. Graças (bairro, Recife). Pesquisa Escolar Online, **Fundação Joaquim Nabuco**, Recife, 2003. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar>> Acesso: 31 out. 2017.

DENNIS, A.; WIXOM, B. H.; TEGARDEN, D. System Analysis and Design: An Object-Oriented Approach with UML. **Wiley**: 5nd ed. 2015.

_____, A.; WIXOM, B. H.; ROTH, R. M. System Analysis and Design. **Wiley**: 5nd ed. 2012.

DIENSTL, B.; SCHOLZ, J. A Concept for Smart Transportation User-Feedback Utilizing Volunteered Geoinformation Approaches. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, 538–545, 2018.

DINIZ, F.; ROCHA, D.; FERRAZ, W.; ALENCAR, A. K. Na fonte das cidades, as águas e as pessoas: a experiência do projeto Parque Capibaribe no bairro das Graças. **Inciti**, Recife, 2017. Disponível em: <http://inciti.org/wp-content/uploads/sites/3/2017/06/Artigo_PNUM2016_Diniz_Rocha_Ferraz_Alencar.pdf> Acesso: 07 novembro 2017.

DEPINÈ, A. C. Fatores de atração e retenção da classe criativa: o potencial de Florianópolis como cidade humana inteligente. 120 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Universidade Federal de Santa Catarina**, Santa Catarina, 2016.

DOCIU, M.; DUNARINTU, A. The Socio-Economic Impact of Urbanization. **International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences**, Volume 2, Special Issue 1, p. 47-52, 2012.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. Fundamentals of Database Systems. 7rd Edition, **Addison-Wesley**, USA, 2016.

ENGELS, D.; KONTIĆ, D.; MATULIN, M.; MRVELJ, Š.; CAUWENBERGE, B. V.; VALKOVA, J.; VILARINHO, C.; TAVARES, J. P.; AKEN, E. V. CIVITAS ELAN Final Evaluation Report. **ELAN Deliverable**, No. 10.11. 2012. Disponível em: <http://civitas.eu/sites/default/files/documents/D_10_11_Final_Evaluation_Report_CIVITAS_ELAN.pdf> Acesso: 20 jan. 2019.

ERL, T.; KHATTAK, W.; BUHLER, P. Big data fundamentals: concepts, drivers & techniques. **Prentice Hall**, Crawfordville, 2016.

FARIA BRASIL, L. Revisitando o conceito de situação consolidada: anotações à noção de área urbana consolidada (Lei n.º 11.977, de 7 de julho de 2009). **Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Disponível: <www.mprs.mp.br/media/areas/urbanistico/arquivos/sit_consolidada.doc> Acesso em: 23 novembro 2017.

Fernandez-Anez, V. Stakeholders Approach to Smart Cities: A Survey on Smart City Definitions. Cham: **Springer International Publishing**, pp. 157–167, 2016.

FOWLER, M. UML Essencial: um breve guia para a linguagem padrão de modelagem de objetos. 3.ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2005.

FNP. Frente Nacional de Prefeitos. A nova mobilidade urbana para a sua cidade: Transporte público de qualidade. **FNP**, 2012.

FROMHOLD-EISEBIT, M. Cyber–Physical Systems in Smart Cities – Mastering Technological, Economic, and Social Challenges. In: SONG, H.; SRINIVASAN, R.; SOOKOOR, T.; JESCHKE, S. Ed(s), **Smart Cities: Foundations, Principles, and Applications**. Hoboken, Nova Jersey: JohnWiley & Sons, 2017.

GHARAIBEH, A.; SALAHUDDIN, M. A.; HUSSINI, S. J.; KHREISHAH, A.; KHALIL, I.; GUIZANI, M. Smart Cities: A Survey on Data Management, Security and Enabling Technologies. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, 55. 2017.

GROOT, R.; MCLAUGHLIN, J. Introduction. In: **Geospatial Data Infrastructure, Concepts, Cases and Good Practice**. Oxford, University Press, Oxford, 2000.

GSCHWENDER, A.; MUNIZAGA, M.; SIMONETTI, C. Using smart card and GPS data for policy and planning: The case of Transantiago. **Research in Transportation Economics**, ed. 59, p. 242–249. 2016

GSDI. Global Spatial Data Infrastructure. **Spatial Data Infrastructure Cookbook**. 2009.

GUEDES, G. T. A. UML 2: uma abordagem prática. 2 ed. São Paulo: **Novatec** Editora, 2011.

HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. An extended entity-relationship model for geographic applications. **SIGMOD Record**, V.26, N.3. 1997.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama cidade do Recife**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>> Acesso: 26 novembro 2017.

_____, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>> Acesso: 26 novembro 2017.

_____, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional 1996**. 1996. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem/pecont96.shtm>> Acesso: 26 novembro 2017.

ICPS. Instituto da Cidade Pelópidas Silveira. Plano de mobilidade do Recife. **ICPS**, 2018a. Disponível em: <http://icps.recife.pe.gov.br/node/56356> Acesso: 06 de outubro de 2018.

ICPS. Instituto da Cidade Pelópidas Silveira. Texto-base da proposta de políticas setoriais da PMU. **ICPS**, 2018b. Disponível em: <<http://icps.recife.pe.gov.br/sites/default/files/PMU-POLITICAS%20SETORIAIS-V09-R019.pdf>> Acesso: 06 de outubro de 2018.

_____. Instituto da Cidade Pelópidas Silveira. Plano de mobilidade do Recife plano diretor de transporte e mobilidade urbana: **Diagnóstico**. 2011.

KONDEPUDI, S.; KONDEPUDI, R. What Constitutes a Smart City?. In: **Handbook of Research on Social, Economic, and Environmental Sustainability in the Development of Smart Cities**. Orgs. Andrea Vesco, Francesco Ferrero, IGI Global, Hershey, 2015.

KÖSTERS, G.; PAGEL, B.; SIX, H. GIS-Application Development with GeoOOA. In: **Journal GIS**, v.11, n.4. 1997.

LIMA, L. A. T. Infraestrutura de dados espaciais como ferramenta de integração, disseminação e análise de dados para o Sistema Estatístico Nacional de Cabo Verde. 2012. 110 f. Dissertação. **Mestrado em Ciências e Sistemas de Informação Geográfica - Universidade de Cabo Verde**, Cabo Verde. 2012.

LARMAN, C. Utilizando UML e Padrões: Uma Introdução à Análise e ao Projeto Orientados a Objetos. **BOOKMAN**, 3 ed. 2007.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Modeling with a UML Profile. In: Encyclopedia of GIS, Eds. Shekhar, S. and Xiong, H., **Springer-Verlag**, p. 691-700. 2008.

_____. Um estudo sobre Modelos Conceituais de Dados para Projeto de Bancos de Dados Geográficos. **Informática Pública**, Belo Horizonte, v.2, p. 67-90, 1999.

LITMAN, T. Smart congestion relief: comprehensive analysis of traffic congestion costs and congestion reduction benefits. In: **Transportation Research Board 2012 Annual Meeting**. Vitoria Transport Policy Institute, Victoria (Canada). 2014.

LIZARDO, L. E. O.; DAVIS JR., C. A. OMT-G Designer: A Web Tool for Modeling Geographic Databases in OMT-G. **ER Workshops 2014**, pp. 228–233, 2014. Springer International Publishing Switzerland, 2014.

LOPES, C. E. Uma Abordagem para Modelar Fenômenos Espaço-Temporais. 2002. 147 f. **Dissertação - Mestrado em Informática, Universidade Federal da Paraíba**, Campina Grande. 2002.

LUCENA, F. N. Manual de Modelagem Orientada a Objetos. **Instituto de Informática – UFG**. 2007.

MAKAROVA, I.; SHUBENKOVA, K.; MAVRIN, V.; BOYKO, A.; KATUNIN, A. Development of Sustainable Transport in Smart Cities. In: **Research and Technologies for Society and Industry – RTSI**, 2017.

MARANHÃO, V. C. Modelagem e controle de qualidade de uma Infraestrutura de Dados Espaciais para o Estado de Pernambuco. 2013. 140 f. **Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco**, Recife. 2013.

NUNES, A. F. O Impacto Da “Lei Dos Doze Bairros” sobre a construção civil na cidade do Recife. 162 f, **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, 2008.

OMG. The unified modeling language 2.5.1. 2017. **OMG**. Acesso: 20/10/2018 disponível em: < <https://www.omg.org/spec/uml/2.5.1> >

PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; ZIMANYI, E.; DONINI, P.; PLAZANET, C.; VANGENOT, C. Modeling spatial data in the MADS conceptual model. In: **International Symposium on Spatial Data Handling**. Vancouver, 1998.

PERNAMBUCO. Base de Dados do Estado. **Frota de veículos por tipo**. Disponível em: <<https://goo.gl/24u3L9>> Acesso: 20 jan. 2019. 2017.

QUEIROZ, A. O. Cidades inteligentes: o papel do cadastro territorial Multifinalitário como ferramenta de gestão e planejamento. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 6, n. 37, 2018.

RAJABIFARD, A. Diffusion of Regional Spatial Data Infrastructures: with particular reference to Asia and the Pacific. **Tese de Doutorado, University of Melbourne, Department of Geomatics**. 2002.

_____; WILLIAMSON, I. P. Spatial data infrastructures: concept, SDI hierarchy and future directions, in Proceedings. **GEOMATICS'80 Conference**, Tehran, Iran, 2001.

RECIFE. Lei n. 17.511, de 2008. Promove a revisão do Plano Diretor do município do Recife. **Diário Oficial do Município**, Recife, 2008.

_____. Lei n. 16.719, de 30 de novembro de 2001. Cria a Área de Reestruturação Urbana - ARU. **Diário Oficial do Município**, Recife, 2001.

REDE. **Rede Brasileira de Cidades Inteligentes e Humanas**. O que é a Rede? Disponível em: <<http://redebrasileira.org/institucional>> Acesso em: 10 jan. 2018

RIZZO, F.; DESERTI, A.; COBANLI, O. Design and social innovation for the development of human Smart cities. **Design Ecologies**, p. 1-8, 2015.

ROCHA, E. C. O.; SÁ, L. A. C. M.; CARNEIRO, E. L. N. C. Modelagem de dados espaciais para acessibilidade ao espaço urbano por pessoa em cadeira de rodas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/10, p. 2021-2032, 2016.

RODE, P., FLOATER, G., THOMOPOULOS, N., DOCHERTY, J., SCHWINGER, P., MAHENDRA, A., FANG, W., CITIES, L.S.E., FRIEDEL, B., GOMES, A., HEECKT, C., SLAVCHEVA, R., Accessibility in **Cities: Transport and Urban Form**. London, United Kingdom. 2014.

RUMBAUGH, J. Modelagem e Projetos Baseados em Objetos. Rio de Janeiro: **Editora Campus**, 1994.

SÁ, L. A. C. M. Modelagem de Dados Espaciais para Sistemas de Informação Geográfica: Pesquisa na Emergência Médica. **Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2001.

SAMPAIO, C. S.; DUQUE, C. G. Arquitetura multimodal da geoinformação no processo de comunicação cartográfica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.23, n.2, p.104-116, abr./jun. 2018.

SILVEIRA, R. L. L. Cidade, Corporação e Periferia urbana: Acumulação de capital e segregação espacial na (re)produção do espaço urbano. Santa Cruz do Sul: **EDUNISC**, 2003.

SILAVI, T.; HAKIMPOUR, F.; CLARAMUNT, C.; NOURIAN, F. Design of a spatial database to analyze the forms and responsiveness of an urban environment using an ontological approach. **Cities**, ed. 52, p. 8–19, 2016.

SHOOK, E.; HODGSON, M. E.; WANG, S.; BEHZAD, B.; SOLTANI, K.; HISCOX, A.; AJAYAKUMAR, J. Parallel cartographic modeling: a methodology for parallelizing spatial data processing. **International Journal of Geographical Information Science**, 2016.

SOARES, R. Plano de Mobilidade do Recife terá como princípio o desestímulo ao uso do automóvel. **Jornal do Comércio**, Recife, 27 mar. 2018. De olho no trânsito. 2018.

SPOSITO, M. E. B. Capitalismo e Urbanização. São Paulo: **Editora Contexto**, ed. 10, 2000.

SRIVANIT, M.; SELANON, P. GIS-based Land Suitability Analysis to Support Transit-Oriented Development (TOD) Master Plan: A Case Study of the Campus Station of Thammasat University and Its Surrounding Communities. Faculty of Architecture and Planning, **Thammasat University**, Pathumthani, Thailand, 2017.

UNITED NATIONS. World urbanization prospects – the 2014 revision. Department of Economic and Social Affairs, **Population Division**, 2014.

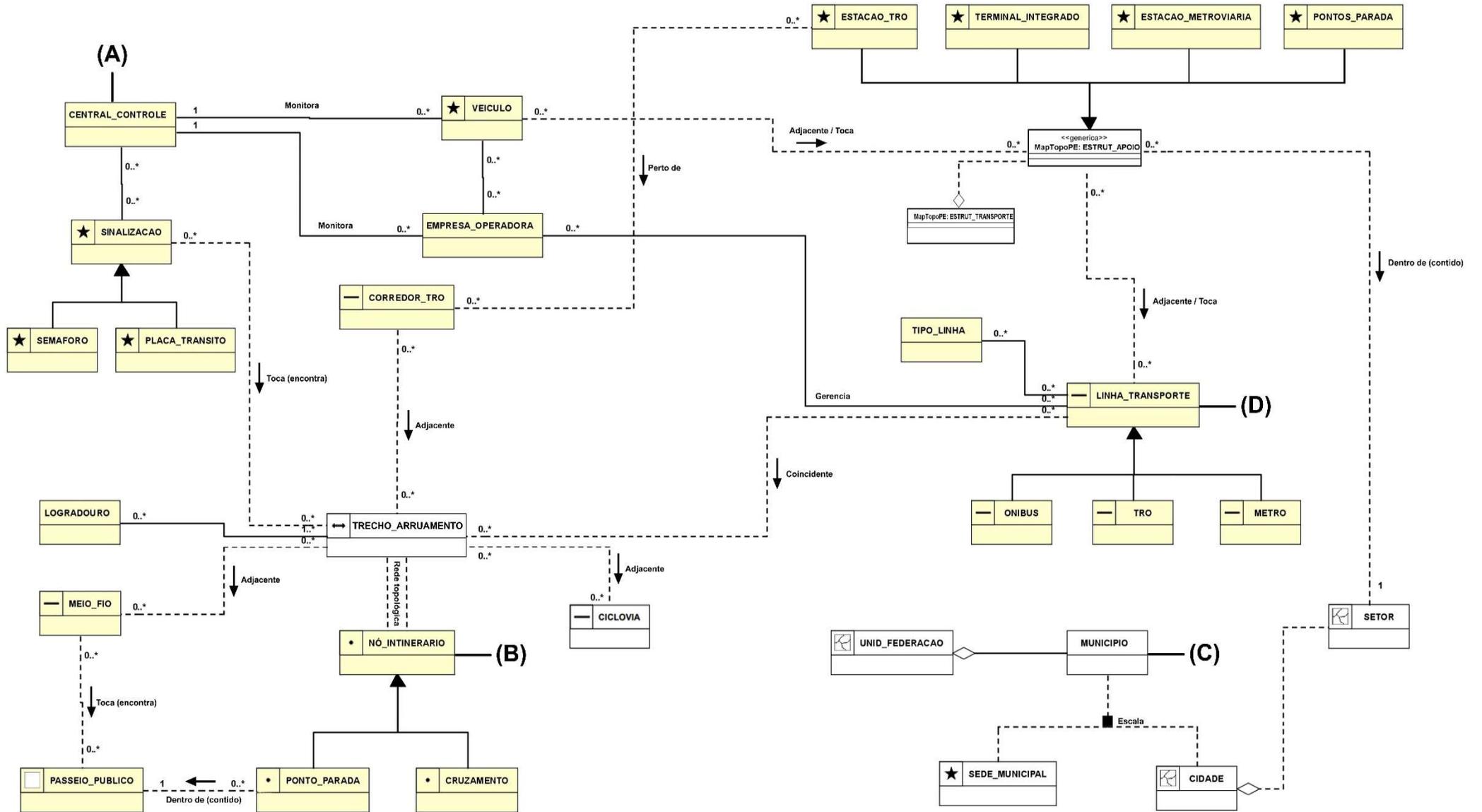
USTUGOVA, S.; PARYGIN, D.; SADOVNIKOVA, N.; FINOGEEV, A.; KIZIM, A. Monitoring of Social Reactions to Support Decision Making on Issues of Urban Territory Management. **Procedia Computer Science**, v. 101, p. 243-252, 2016.

WEFERING, F.; RUPPRECHT, S.; BÜHRMANN, S.; BÖHLER-BAEDEKER, S. Guidelines: **Developing and implementing a sustainable urban mobility plan**. European Union, 2013.

ZHANG, Z.; DEMŠAR, U.; WANG, S.; VIRRANTAUŠ, K. A spatial fuzzy influence diagram for modelling spatial objects' dependencies: a case study on tree-related electric outages. **International Journal of Geographical Information Science**, 2017.

ZOTTIS, L. Três cidades brasileiras vencem o Sustainable Transport Award. The City Fix Brasil. **Desenvolvimento Urbano**, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/pQGcC3>> Acesso: 20 jan. 2019.

APÊNDICE A - MODELO CONCEITUAL DO SISTEMA DE TRANSPORTES PÚBLICOS DE PASSAGEIROS PARA GRANDES CIDADES



APÊNDICE B - MODELO FÍSICO DO BANCO DE DADOS ESPACIAL MOBIRECIFE

```
-- MySQL Script generated by OMT-G Designer
-- Mon Nov 17 11:57:32 2018
-- Model: ModeloFisico_Mobi   Version: 1.0
-- Owner: Thalles Ramon Pinheiro de Sousa
-----
-- Schema Mobi
-----
CREATE SCHEMA IF NOT EXISTS mobi;

SET search_path to mobi, public;
-----
-- Table UNID_FEDERACAO
-----
CREATE TABLE mobi.UNID_FEDERACAO (
  id INT NOT NULL,
  nome VARCHAR(45) NULL,
  jurisdicao VARCHAR(45) NULL,
  PRIMARY KEY (id));
ALTER TABLE mobi.UNID_FEDERACAO ADD
COLUMN geom geometry(Multipolygon, 4674);
-----
-- Table MUNICIPIO
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS mobi.Municipio
(
  id INT NOT NULL,
  nome VARCHAR(45) NULL,
  id_UnidFederacao INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_UnidFederacao)
REFERENCES mobi.unid_federacao (id)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.Municipio ADD COLUMN
geom geometry(Polygon, 4674);
-----
-- Table SETOR
-----
CREATE TABLE IF NOT EXISTS mobi.Setor (
  id INT NOT NULL,
  id_Municipio INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_Municipio) REFERENCES
mobi.Municipio (id)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.Setor ADD COLUMN geom
geometry(Multipolygon, 4674);
-----
-- Table TIPO_LINHA
-----
CREATE TABLE TIPO_LINHA (
  id serial primary key,
  tipo varchar(50) );
-----
-- Table LINHA_TRANSPORTE
-----
```

```
CREATE TABLE mobi.LINHA_TRANSPORTE (
  id serial NOT NULL,
  sigla varchar(10),
  nome varchar(50),
  inicio_op date,
  pessoas_aten real,
  tipo_modal varchar(3),
  id_tipolinha int NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_tipolinha) REFERENCES
mobi.tipo_linha(id));
ALTER TABLE mobi.LINHA_TRANSPORTE
ADD COLUMN geom geometry(LineString,
4674);
-----
-- Table ESTACAO_TRO
-----
CREATE TABLE mobi.ESTACAO_TRO (
  id serial NOT NULL,
  sigla varchar(10),
  nome varchar(50),
  inicio_op date,
  pessoas_aten real,
  multimodal varchar(3),
  id_setor INT NOT NULL,
  id_linha_trans INT NOT NULL,
  logradouro varchar(50),
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_setor) REFERENCES
mobi.setor (id),
  FOREIGN KEY (id_linha_trans) REFERENCES
mobi.linha_transporte (id)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.ESTACAO_TRO ADD
COLUMN geom geometry(Point, 4674);
-----
-- Table CORREDOR_TRO
-----
CREATE TABLE mobi.CORREDOR_TRO (
  id serial NOT NULL,
  sigla varchar(10),
  nome varchar(50),
  inicio_op date,
  pessoas_aten real,
  multimodal varchar(3),
  id_setor INT NOT NULL,
  id_linha_trans INT NOT NULL,
  logradouro varchar(50),
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_setor) REFERENCES
mobi.setor (id),
  FOREIGN KEY (id_linha_trans)
REFERENCES mobi.linha_transporte (id)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION);
```

```
ALTER TABLE mobi.CORREDOR_TRO ADD
COLUMN geom geometry(LineString, 4674);
```

```
-----
-- Table ESTACAO_METROVIARIA
-----
```

```
CREATE TABLE
mobi.ESTACAO_METROVIARIA (
  id serial NOT NULL,
  codigo varchar(10),
  nome varchar(50),
  inicio_op date,
  pessoas_aten real,
  multimodal varchar(3),
  id_setor INT NOT NULL,
  id_linha_trans INT NOT NULL,
  logradouro varchar(50),
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_setor) REFERENCES
mobi.setor (id),
  FOREIGN KEY (id_linha_trans)
REFERENCES mobi.linha_transporte (id)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.ESTACAO_METROVIARIA
ADD COLUMN geom geometry(Point, 4674);
```

```
-----
-- Table TERMINAL_INTEGRADO
-----
```

```
CREATE TABLE mobi.TERMINAL_INTEGRADO
(
  id serial NOT NULL,
  sigla varchar(10),
  nome varchar(50),
  inicio_op date,
  pessoas_aten float,
  multimodal varchar(3),
  id_setor INT NOT NULL,
  id_linha_trans INT NOT NULL,
  logradouro varchar(50),
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_setor) REFERENCES
mobi.setor (id),
  FOREIGN KEY (id_linha_trans)
REFERENCES mobi.linha_transporte (id)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.TERMINAL_INTEGRADO
ADD COLUMN geom geometry(Point, 4674);
```

```
-----
-- Table CRUZAMENTO
-----
```

```
CREATE TABLE mobi.CRUZAMENTO (
  id serial NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id));
ALTER TABLE mobi.CRUZAMENTO ADD
COLUMN geom geometry(Point, 4674);
```

```
-----
-- Table LOGRADOURO
-----
```

```
CREATE TABLE mobi.LOGRADOURO (
```

```
  id serial NOT NULL,
  tipo_logr varchar(10),
  lograd varchar(100),
  num_logrd varchar(5),
  cidade varchar(50),
  PRIMARY KEY (id));
```

```
-----
-- Table LOGRADOURO
-----
```

```
CREATE TABLE mobi.CICLOVIA (
  id serial NOT NULL,
  tipo_logr varchar(10),
  lograd varchar(100),
  PRIMARY KEY (id));
ALTER TABLE mobi.CICLOVIA ADD COLUMN
geom geometry(LineString, 4674);
```

```
-----
-- Table MEIO_FIO
-----
```

```
CREATE TABLE MEIO_FIO (
  id serial NOT NULL,
  material VARCHAR(50) NULL,
  estCons VARCHAR(50) NULL,
  PRIMARY KEY (id));
ALTER TABLE mobi.MEIO_FIO ADD COLUMN
geom geometry(LineString, 4674);
```

```
-----
-- Table PASSEIO_PUBLICO
-----
```

```
CREATE TABLE PASSEIO_PUBLICO (
  id serial NOT NULL,
  material VARCHAR(45) NULL,
  estCons VARCHAR(45) NULL,
  poste VARCHAR(45) NULL,
  comprimento VARCHAR(45) NULL,
  largura VARCHAR(45) NULL,
  sinalizacao VARCHAR(45) NULL,
  acessibilidade VARCHAR(45) NULL,
  id_meioFio INT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (id),
  FOREIGN KEY (id_MeioFio) REFERENCES
mobi.MEIO_FIO (id)
  ON DELETE NO ACTION
  ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.PASSEIO_PUBLICO ADD
COLUMN geom geometry(Multipolygon, 4674);
```

```
-----
-- Table TRECHO_INTINERARIO
-----
```

```
CREATE TABLE mobi.TRECHO_INTINERARIO
(
  id serial NOT NULL,
  comprimento float,
  largurainicial float,
  largurafinal float,
  pavimentacao varchar(50),
  arborizacao varchar(3),
  ilumpublica varchar(3),
  faixaexclusiva varchar(3),
  id_ciclovia int NULL,
```

```

id_passeio int NULL,
id_logradouro int NULL,
PRIMARY KEY (id),
FOREIGN KEY (id_ciclovia) REFERENCES
mobi.ciclovia(id),
FOREIGN KEY (id_passeio) REFERENCES
mobi.PASSEIO_PUBLICO(id),
FOREIGN KEY (id_logradouro) REFERENCES
mobi.logradouro(id)
ON DELETE NO ACTION
ON UPDATE NO ACTION);
ALTER TABLE mobi.TRECHO_INTINERARIO
ADD COLUMN geom geometry(LineString,
4674);

```

```
-----
-- Table EMPRESA_OPERADORA
-----
```

```

CREATE TABLE
mobi.EMPRESA_OPERADORA (
id serial NOT NULL,
cod varchar(10),
nome varchar(50),
concessao varchar(50),
qtd_veiculos int,
tipo_operacao varchar(30),

```

```
PRIMARY KEY (id));
```

```
-----
-- Table VEICULO
-----
```

```

CREATE TABLE mobi.VEICULO (
id serial NOT NULL,
cod_ varchar(10),
qtd_veiculos int,
tipo_operacao varchar(30),
PRIMARY KEY (id));
ALTER TABLE mobi.VEICULO ADD COLUMN
geom geometry(Point, 4674);

```

```
-----
-- Table CENTRAL_CONTROLE
-----
```

```

CREATE TABLE mobi.CENTRAL_CONTROLE (
id serial NOT NULL,
id_veiculo int,
id_empresa int,
PRIMARY KEY (id),
FOREIGN KEY (id_veiculo) REFERENCES
mobi.veiculo(id),
FOREIGN KEY (id_empresa) REFERENCES
mobi.empresa_operadora(id));

```