

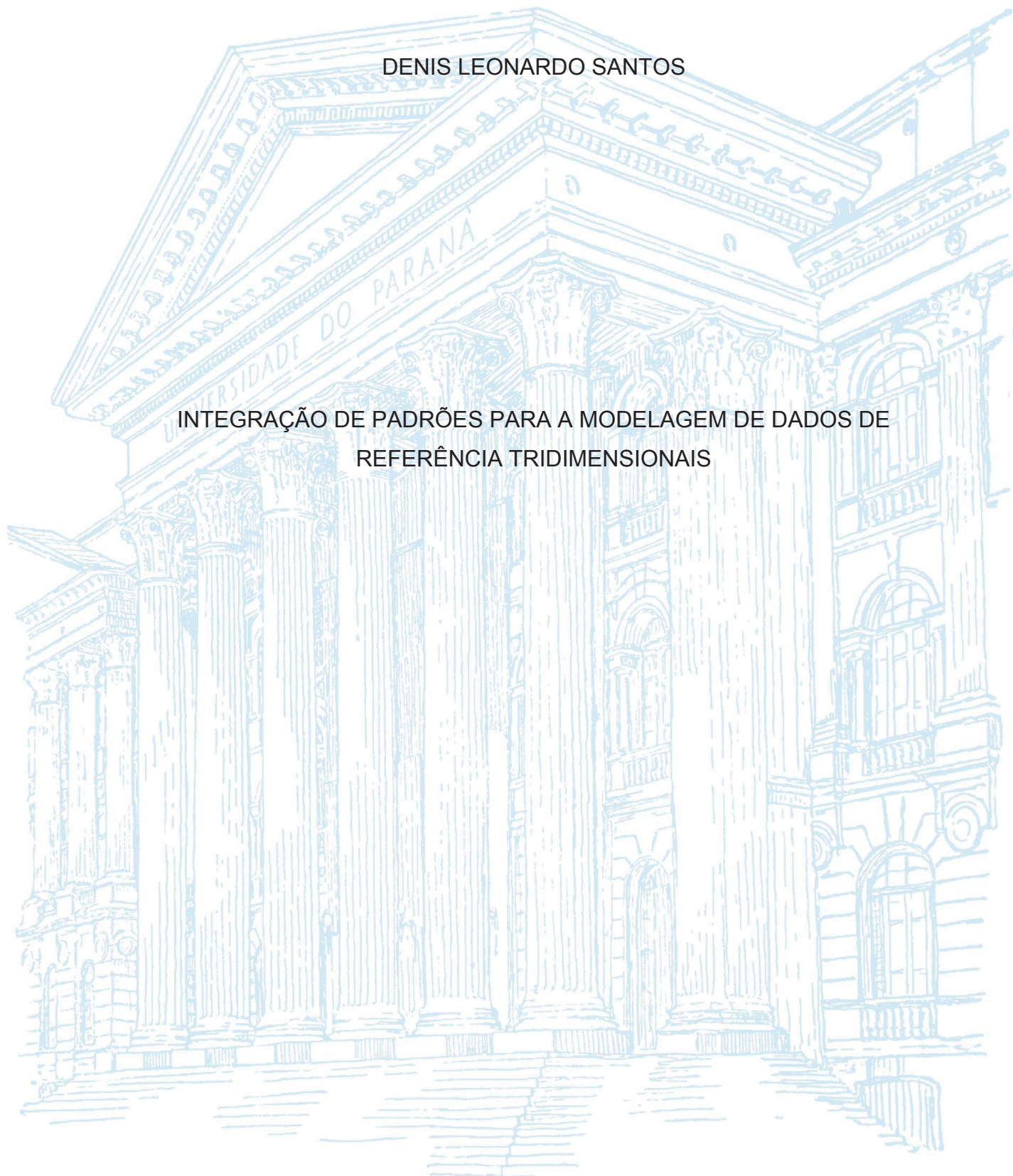
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DENIS LEONARDO SANTOS

INTEGRAÇÃO DE PADRÕES PARA A MODELAGEM DE DADOS DE
REFERÊNCIA TRIDIMENSIONAIS

CURITIBA

2021



DENIS LEONARDO SANTOS

INTEGRAÇÃO DE PADRÕES PARA A MODELAGEM DE DADOS DE
REFERÊNCIA TRIDIMENSIONAIS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari

Coorientadores: Profa. Dra. Silvana P. Camboim
Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon
Schmidt

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S237i

Santos, Denis Leonardo

Integração de padrões para a modelagem de dados de referência tridimensionais [recurso eletrônico] / Denis Leonardo Santos. – Curitiba, .

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, .

Orientador: Luciene Stamato Delazari – Coorientador: Silvana Philippi Camboim - Coorientador: Marcio Augusto Reolon Schmidt

1. Geoprocessamento. 2. Modelagem de dados. 3. Cartografia. 4. Mapas topográficos. 5. Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais . I. Universidade Federal do Paraná. II. Delazari, Luciene Stamato. III. Camboim, Silvana Philippi. IV. Schmidt, Marcio Augusto Reolon. V. Título.

CDD: 910.285

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DENIS LEONARDO SANTOS** intitulada: **INTEGRAÇÃO DE PADRÕES PARA A MODELAGEM DE DADOS DE REFERÊNCIA TRIDIMENSIONAIS**, sob orientação da Profa. Dra. LUCIENE STAMATO DELAZARI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Julho de 2021.

Assinatura Eletrônica

30/07/2021 16:49:11.0

LUCIENE STAMATO DELAZARI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

30/07/2021 17:35:23.0

ANDREA FARIA ANDRADE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

02/08/2021 10:38:39.0

ANDREA FLÁVIA TENORIO CARNEIRO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO)

Dedico esse trabalho:

aos meus pais Antonio e Maria,
aos meus irmãos Francielle e Thiago,
ao meu cunhado Bruno,
às minhas sobrinhas Anne e Felice,
à minha companheira Andressa.

AGRADECIMENTOS

A todos que de alguma forma participaram diretamente ou indiretamente desta pesquisa, em especial:

Aos meus orientadores, Prof.^a Dr.^a Luciene Stamato Delazari, Prof.^a Dr.^a Silvana Philippi Camboim e Prof.^o Dr.^o Marcio Augusto Reolon Schmidt, pelo incentivo, apoio, paciência e compreensão durante a realização desta pesquisa;

À Prof.^a Dr.^a Andrea Faria Andrade (UFPR) e Prof.^o Dr.^o Arivaldo Leão de Amorim (UFBA), pelas sugestões para melhoria da pesquisa e do manuscrito da dissertação;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG) da UFPR pelos conhecimentos passados durante estes anos;

A todos amigos, colegas e alunos do PPGCG, em especial aos frequentadores dos laboratórios de pesquisa LabCarto e LabGeoLivre;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro através da bolsa de estudos, que possibilitou a realização desta pesquisa.

RESUMO

Ao passar dos anos grande parte da população mundial passou a residir em centros urbanos, resultando em um maior adensamento populacional e complexidade das cidades, o que proporcionou um grande desafio ao planejamento e gerenciamento territorial, porém, o avanço tecnológico propiciou inúmeros progressos nas mais diversas áreas do conhecimento. Na Cartografia este avanço teve igual impacto, sendo que um dentre muitos foi a possibilidade da ampla geração e processamento de dados espaciais. Este fator levou as instituições responsáveis pela cartografia nacional a instituírem em 2008 uma Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), com intuito de promover o ordenamento na geração, armazenamento, acesso e disseminação dos dados geoespaciais, fazendo uso de padrões e normas. Porém, em meio a todas estas informações espaciais tem-se cada vez mais o uso de dados tridimensionais. Entretanto, os padrões instituídos e vigentes no âmbito nacional são idealizados para dados bidimensionais. A partir disso, ressalta-se a importância para a adaptação dos padrões e normas vigentes ao modelo de dados tridimensionais, ou então, a integração de padrões internacionais a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV). Portanto, esta pesquisa propõe a compatibilização geométrica e semântica entre a ET-EDGV 3.0 e o padrão internacional CityGML 2.0, a partir da construção de metamodelos dos padrões, da técnica *Triple Graph Grammar* (TGG) e elementos da metodologia de alinhamento de modelos conceituais por ontologia, possibilitando a correlação de ambos os modelos conceituais. Estas técnicas permitiram a correlação dos aspectos principais, classes e atributos de ambos os padrões, além de propiciar uma relação entre as escalas do mapeamento sistemático e o *Level Of Detail* (LOD), e por fim, realizar a análise de correspondência de classes e atributos. Foi possível observar a necessidade de incluir as representações tridimensionais ao padrão ET-EDGV 3.0 e a carência semântica do CityGML 2.0 às exigências nacionais.

Palavras-chave: Padrão de dados. ET-EDGV 3.0. CityGML 2.0. Compatibilização de modelos.

ABSTRACT

Over the years a large part of the world population began to reside in urban centers, resulting in greater population densification and complexity of cities, which provided a great challenge to territorial planning and management, however, technological advancement has provided numerous advances in various areas of knowledge. In Cartography this advance had the same impact, and one among many was the possibility of ample generation and processing of spatial data. This factor led the institutions responsible for the national cartography to establish in 2008 a National Spatial Data Infrastructure (NSDI), in order to promote order in the generation, storage, access and dissemination of geospatial data, making use of standards and norms. However, among all this spatial information there is the increasing use of three-dimensional data. However, the standards established and in force at national level are designed for two-dimensional data. Therefore, it is important to adapt the current standards and norms to the three-dimensional data model, or the integration of international standards to the Technical Specification for Structuring Geospatial Vector Data (TS-EDGV). Therefore, this research proposes the geometric and semantic compatibility between the ET-EDGV 3.0 and the international standard CityGML 2.0, from the construction of metamodels of the standards, the Triple Graph Grammar (TGG) technique and elements of the ontology conceptual model alignment methodology, enabling the correlation of both conceptual models. These techniques allowed the correlation of the main aspects, classes and attributes of both patterns, besides providing a relationship between the scales of the systematic mapping and the Level Of Detail (LOD), and finally, perform the correspondence analysis of classes and attributes. It was possible to observe the need to include three-dimensional representations to the ET-EDGV 3.0 standard and the semantic lack of CityGML 2.0 to the national requirements.

Keywords: Data standard. ET-EDGV 3.0. CityGML 2.0. Model compatibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelagem segundo o paradigma dos quatro universos.....	23
Figura 2 - Níveis de especialização de aplicações geográficas.	24
Figura 3 - Descrição de classe.....	26
Figura 4 - Tipos de classes OMT-G.	29
Figura 5 - Tipos de relacionamentos OMT-G.	30
Figura 6 - Categorias de informação MapTopoPE.	32
Figura 7 - Categorias de informação MapTopoGE.....	33
Figura 8 - Diagrama de classes para a categoria de informação Edificações.....	34
Figura 9 - Diagrama do conjunto UML ilustrando os módulos (classes) CityGML.....	37
Figura 10 - Level of detail em computação gráfica.....	38
Figura 11 - Exemplo da modelagem conceitual (Building).	39
Figura 12 - Level Of Detail (LOD) CityGML.....	40
Figura 13 - Mapa 3D real.....	42
Figura 14 - Mapa 3D pseudodimensional.....	43
Figura 15 - Desenho panorâmico.	44
Figura 16 - Região representada em 2D e 3D.....	46
Figura 17 - Passos a criação de mapas topográficos 3D.	48
Figura 18 - Representação da orientação textual em um mapa 3D.	51
Figura 19 - Etapas e processos da metodologia.	57
Figura 20 - Pacotes do mapeamento sistemático em pequenas escalas.....	62
Figura 21 - Pacotes do mapeamento sistemático em grandes escalas.	62
Figura 22 - Complexo de transporte no nível de detalhe 0, 1, 2-4.....	66
Figura 23 - Mapa mental da avaliação de relação Escala/LOD.....	68
Figura 24 - Gráfico Triplo que inclui um gráfico IFC, um gráfico do CityGML e um de correlação entre os modelos.....	70
Figura 25 - Esquema conceitual da categoria de informação Área Verde (MapTopoGE).	72
Figura 26 - Esquema conceitual do modelo temático vegetation.	73
Figura 27 - Metamodelo da ET-EDGV 3.0.	79
Figura 28 - Metamodelo do CityGML 2.0.	80
Figura 29 - Correspondência entre elementos dos metamodelos ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0.	82

Figura 30 - Diagrama UML do modelo de geometria CityGML: Primitivas e compostas.....	85
Figura 31 - Diagrama UML do modelo de geometria CityGML: Complexo e agregado.	85
Figura 32 - Geometrias combinadas.	86
Figura 33 - Gráfico TGG para categoria de informação edificação.	92
Figura 34 - Gráfico TGG para categoria de informação área verde/vegetação.....	93
Figura 35 - Gráfico TGG para categoria de informação estrutura de mobilidade urbana.....	94
Figura 36 – Análise de correspondência nas classes (Edificação).....	100
Figura 37 – Análise de correspondência nas classes (Área Verde/Vegetação).....	101
Figura 38 – Análise de correspondência nas classes (Estrutura de Mobilidade Urbana).	102
Figura 39 - Análise de correspondência em atributos.	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre escalas e LOD's, para elementos representados pela geometria área.....	87
Tabela 2 - Relação entre escalas e LOD's, para elementos representados pela geometria linha.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relacionamento entre classes.	27
Quadro 2 - Exemplos de cardinalidades possíveis.....	27
Quadro 3 - Nível de escala.....	58
Quadro 4 - Nível de detalhe.	60
Quadro 5 - Aquisição de objetos segundo a escala.	64
Quadro 6 - Elementos mínimos representáveis no CityGML.	67
Quadro 7 - Alinhamento de atributos.....	98

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 MODELAGEM CONCEITUAL DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	21
2.1.1 Níveis de abstração de dados geográficos.....	23
2.1.2 UNIFIED MODELING LANGUAGE	25
2.1.3 OMT-G	28
2.2 ET-EDGV	31
2.3 CITYGML	35
2.4 CARTOGRAFIA TRIDIMENSIONAL (3D)	41
2.5 RESUMO DO CAPÍTULO	55
3 METODOLOGIA	56
3.1 COMPATIBILIZAÇÃO DOS TIPOS DE GEOMETRIA.....	57
3.1.1 Metamodelo.....	58
3.1.2 Alinhamento entre elementos dos metamodelos.....	61
3.1.3 Relação entre escalas e LOD's	63
3.2 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA	70
3.2.1 Triple Graph Grammar	70
3.2.2 Alinhamento de atributos.....	74
3.3 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA.....	75
3.3.1 Classes.....	76
3.3.2 Atributos	76
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
4.1 COMPATIBILIZAÇÃO DOS TIPOS DE GEOMETRIA.....	78
4.1.1 Metamodelo.....	78
4.1.2 Alinhamento entre elementos dos metamodelos.....	82
4.1.3 Relação entre escalas e LOD's	87
4.2 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA	90
4.2.1 Triple Graph Grammar	91

4.2.2 Alinhamento de atributos.....	97
4.3 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA.....	98
4.3.1 Classes.....	99
4.3.2 Atributos	104
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	107
REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (2019), aproximadamente 55% da população mundial vive em centros urbanos, sendo estimado para 2050 que esta proporção passe a ser de 70%. Estes centros urbanos recobrem aproximadamente 3% da superfície terrestre (BALK *et al.*, 2006), e são responsáveis por 70% das emissões de gás carbônico e mais de 60% do consumo de recursos (ONU, 2015). Neste contexto de centros urbanos, o rápido desenvolvimento dos mesmos está resultando em um crescente número de pessoas passando a residir nas áreas urbanas, resultando em um maior adensamento populacional, fatos que consequentemente acarretam na expansão do perímetro urbano, ocupações de novas áreas e verticalização das já existentes, transformação do uso e a ocupação do solo, e ampliação da impermeabilização, o que implica em um ciclo de vida dinâmico e complexo (AMORIM, 2015). Conforme a Agenda 2030 assinada por 193 países membros da ONU, são listados 17 objetivos de desenvolvimento sustentável para erradicar a pobreza e proporcionar vida digna para todos (PNUD; IPEA, 2015), sendo o 11º objetivo sobre Cidades e Comunidades Sustentáveis.

O grande avanço tecnológico alcançado nos tempos atuais, que gerou evolução em diversas áreas do conhecimento, pode beneficiar as cidades com relação a sustentabilidade e uso de recursos. Como exemplo, o termo *Smart City* (Cidade Inteligente), dado a cidades que utilizam recursos tecnológicos a seu favor. Uma *Smart City* trata-se de uma área espacialmente bem definida, na qual são utilizadas tecnologias a fim de auxiliar na criação de benefícios aos cidadãos em termos de bem-estar, inclusão e acesso, qualidade ambiental, desenvolvimento sustentável inteligente, sendo governada por um conjunto bem definido de questões, capazes de estabelecer as regras e políticas para o governo e o desenvolvimento da cidade (DAMERI, 2013). Comumente a inteligência deste termo é representada por 6 elementos: economia inteligente, mobilidade inteligente, meio ambiente inteligente, pessoas inteligentes, vida inteligente e governança inteligente, sendo essencial o equilíbrio entre estes elementos para o bom funcionamento da cidade (GRUEN, 2013). Assim como Dameri (2013) cita que a cidade deve ser bem definida espacialmente, Gruen (2013) coloca que a ciência da informação geoespacial tem um papel essencial, fornecendo estrutura teórica fundamental e os procedimentos

práticos para a aquisição, processamento, análise e representação dos dados de uma cidade.

Diante disso, torna-se essencial o conhecimento espacial do território, visto que para *Smart Cities* é fundamental que as mesmas sejam capacitadas espacialmente (ROCHE, 2014). Uma cidade capacitada espacialmente é um conceito de evolução, onde a localização e qualquer outra informação espacial está disponível para a administração, cidadãos e empresas como meio de organizar suas atividades e informações (WILLIAMSON *et al.*, 2011). A partir disso a Geociências aliada a evolução tecnológica, possibilita uma ampla obtenção de dados espaciais, facilitando tanto a geração quanto seu processamento. Em consequência, no âmbito nacional, surge uma grande preocupação relacionada ao ordenamento dos dados geoespaciais em instituições governamentais federais, estaduais e municipais. Então instituiu-se a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) que objetiva promover o ordenamento na geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geoespaciais, junto a utilização dos padrões e normas, homologadas pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), na geração de dados por todas as esferas governamentais, evitando a duplicidade de ações e gasto de recursos (BRASIL, 2008).

Existe também a crescente disponibilidade de dados tridimensionais, para os quais não se instituíram padrões e normas específicas no âmbito nacional. Além disso, não se pode afirmar se os padrões vigentes e idealizados para dados bidimensionais seriam compatíveis com informações tridimensionais. Por este motivo é de extrema importância que o tema seja discutido, para que aplicações baseadas em dados vetoriais tridimensionais sejam tratadas da mesma forma que dados bidimensionais, em relação a geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geoespaciais. Algumas aplicações que utilizam dados tridimensionais, como o Cadastro 3D, necessitam da definição de padrões que possibilitem a estruturação e o intercâmbio de dados para seu sucesso (CARNEIRO; ERBA; AUGUSTO, 2012). Com o intuito de padronizar os dados tridimensionais de cidades, em 2002 foi desenvolvido e vem sendo aprimorado o padrão internacional *City Geography Markup Language* (CityGML), criado com o objetivo de suprir demandas de mapeamento tridimensional relacionado a modelagem, armazenamento e troca de dados tridimensionais de cidades, abordando questões geométricas, semânticas e topológicas dos elementos (OGC, 2012). Este padrão, baseado em XML, é um

esquema para a versão *Geography Markup Language* 3.1.1 (GML3) publicado pela *Open Geospatial Consortium* (OGC), o que facilita a interoperabilidade dos dados tridimensionais (OGC, 2012). O mesmo prevê a representação de aspectos comumente presentes nas cidades em diferentes módulos, sendo eles: *Appearance*; *Bridge*; *Building*; *CityFurniture*; *CityObjectGroup*; *Generics*; *LandUse*; *Relief*; *Transportation*; *Tunnel*; *Vegetation*; *WaterBody* e *TexturedSurface*. Alguns destes módulos podem ser representados em cinco *Level Of Detail* (LOD): LOD0; LOD1; LOD2; LOD3 e LOD4 (OGC, 2012).

Contudo, para uma representação mais assertiva é necessário que algumas diretivas sejam levadas em consideração. Por isso, são levantados três agrupamentos de aspectos a serem considerados, nomeados como: aspectos do modelo, onde são apresentados os dados na estrutura *wireframe*; aspectos gráficos, etapa onde são definidas as variáveis visuais; e aspectos de visualização, conjunto de características que auxiliam na percepção da simbologia (SCHMIDT, 2012). Schmidt (2012), a partir de várias pesquisas (FOSSE, 2008; FOSSE; CENTENO; SLUTER, 2008; HAEBERLING, 1999, 2002; HAEBERLING; BÄR; HURNI, 2008; PETROVIČ; MAŠERA, 2004; TERRIBILINI, 1999) entende que em cada fase da construção dos símbolos, os elementos podem ser trabalhados individualmente. Anteriormente, com o intuito de levantar e descrever um inventário de aspectos para o projeto cartográfico, Haerberling (2002) aborda características possíveis de implementação, em mapas 3D, para cada grupo de aspectos (modelo, gráfico e visualização). Para então, a partir de testes (questionário e entrevistas) e seus resultados, chegar aos aspectos mais relevantes para o projeto cartográfico (HAEBERLING; BÄR; HURNI, 2008).

A partir do descrito torna-se clara a importância de avaliações e discussões em torno do assunto, visto que uma grande quantidade de dados tridimensionais vem sendo gerada sem uma norma ou padrão que garanta sua interoperabilidade, disseminação e uso, conforme definição da INDE (2020). Por isso, torna-se relevante a realização de estudos que viabilizem a representação padronizada de dados tridimensionais em diferentes aplicações. Este estudo também permite adaptar padrões voltados a dados tridimensionais já existentes a realidade nacional, ou ainda, a realização de compatibilizações com a ET-EDGV 3.0.

Diante do exposto, esta pesquisa propõe a integração entre a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0) e padrão internacional *City Geography Markup Language* (CityGML 2.0), visando a

interoperabilidade de ambos. Para tanto, serão levantados os métodos que possibilitem a compatibilização geométrica e semântica já existentes na literatura, a fim de selecionar e implementar o mais adequado.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

O conhecimento do território compreendido a administrações governamentais é de suma importância para o seu planejamento e gerenciamento territorial. Segundo Machado e Camboim (2019), para que aparatos de gestão urbana sejam aplicados com eficácia pela administração municipal, é imprescindível ter pleno conhecimento do território e dos fenômenos que ocorrem nas cidades. Com isso, dispor de uma base de informações espaciais contendo características primitivas do espaço que a confere é essencial. Como exemplo dessa necessidade, o Projeto UFPR CampusMap (<http://www.campusmap.ufpr.br/>) surgiu em 2014, com o objetivo inicial de realizar o mapeamento *indoor* dos edifícios do Campus Centro Politécnico, da Universidade Federal do Paraná. Porém, devido ao desconhecimento parcial da área, gerado pela desatualização da base cartográfica do campus, em 2017, foram realizados projetos de extensão com o intuito de desenvolver metodologias para geração de uma base cartográfica atualizada, possibilitando uma melhor gestão dos espaços do campus (DELAZARI; ERCOLIN FILHO; SKROCH, 2019). O exemplo apresentado reforça a importância de a administração pública possuir uma base espacial organizada e padronizada, com o intuito de planejar e gerenciar o território, pois, um campus universitário opera como uma cidade, conseqüentemente, os problemas e desafios se equiparam em dimensões distintas. Diante disso, torna-se clara a extrema relevância do conhecimento territorial, sendo mais significativo ainda o seu conhecimento em dimensões mais próximas ao mundo real.

Aliada a estas necessidades, novas tecnologias surgem para facilitar e baratear custos operacionais de metodologias existentes. Neste contexto, o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma poderosa ferramenta para aquisição de dados para planejamento, gerenciamento territorial, fiscalização, supervisão, mapeamento e modelagem geométrica (3D), permitindo a geração de produtos como ortoimagens, mosaicos, Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Superfície (MDS), modelos 3D texturizados, a partir de câmeras de pequeno e médio porte aerotransportadas. Tal ferramenta permite alta capacidade de fornecer rapidamente

informações de imagens de alta resolução temporal e espacial, possibilitando uma rápida reação a situações críticas que necessitem de informações espaciais. Apesar de grande parte destes equipamentos utilizar câmeras de baixo custo, acarretando a necessidade da tomada de mais imagens para uma boa precisão e recobrimento, sua resistência e estabilidade não se comparam com as de aeronaves tripuladas, porém, os produtos gerados através da tecnologia VANT mantêm o alto potencial de precisão. Contudo, o método mais popular e utilizado para a obtenção de dados tridimensionais de centros urbanos nos dias atuais é o LIDAR (*Light Identification Detection and Ranging*) (BADENKO et al., 2019).

Segundo Costa (2016), em grande parte dos municípios brasileiros a implementação de sistemas de administração territorial é amplamente realizada no meio bidimensional (2D), por meio de Sistemas de Informação Geográfica ou plataformas desenvolvidas para internet. Porém, com o crescente número de pessoas passando a residir nas áreas urbanas e o adensamento populacional, fatos que conseqüentemente acarretam na expansão do perímetro urbano, ocupações de novas áreas e verticalização das já existentes, transformação do uso e a ocupação do solo, e ampliação da impermeabilização, implica em um ciclo de vida dinâmico e complexo (AMORIM, 2015). Gruen (2013) afirma que os métodos tradicionais de planejamento e gestão das cidades não funcionam mais neste novo ambiente. Amorim (2015) também coloca que os meios tradicionais de enfrentamento das demandas urbanas pelas administrações públicas, compreendidos ao planejamento, gestão e monitoramento urbano, comportaram as necessidades das questões urbanas. Entretanto, o mesmo autor afirma que o panorama atual é outro e para atender as demandas contemporâneas, é necessário se pensar em novas ferramentas e estratégias.

Diante do exposto, evidencia-se a relevância do uso de novas ferramentas que tornem possível um planejamento e gestão territorial mais eficiente e inovador, que proporcione o suporte as cidades, suas complexidades e peculiaridades. Representações bidimensionais (2D) não satisfazem mais totalmente as questões envolvendo o contexto atual das megacidades, superpopulação e sustentabilidade frente a escassez de recursos. Com isso, é essencial que novos estudos sejam feitos, levantando o tema de padronização, modelagem e representação de bases tridimensionais e suas colaborações para as cidades no cenário atual.

Os estudos relacionados a representações de dados tridimensionais vem avançando na última década, porém grande parte relaciona-se ao modo de representação (ANTONIO; ANTUNES, 2016), simbologia, navegação (SCHMIDT; DELAZARI, 2012), variáveis gráficas (FOSSE; CENTENO; SLUTER, 2006), realidade virtual (FOSSE; VEIGA, 2006), cadastro 3D (COSTA; CARNEIO; SILVA, 2016), documentação arquitetônica (BASTIAN, 2015), realidade aumentada, entre outras. Em um atual panorama internacional, muitos esforços estão sendo realizados para extensão do padrão CityGML (EGUSQUIZA; IZKARA; GANDINI, 2018; KUMAR et al., 2017), integração de padrões (LIM; TAUSCHER; BILJECKI, 2019; STOUFFS; TAUSCHER; BILJECKI, 2018), gerenciamento de dados (ALEKSANDROV et al., 2019) e Cadastro 3D (SUN et al., 2019). Porém, constatou-se também que muitos softwares de GIS e BIM não suportam o formato CityGML, ou encontram dificuldade com o mesmo, com isso, uma nova linha de pesquisa tem sido amplamente estudada pelo projeto Benchmark GeoBIM (<https://3d.bk.tudelft.nl/projects/geobim-benchmark/>) e CityJSON (<https://www.cityjson.org/>) realizando investigações entorno da interoperabilidade entre os softwares de manipulação, visualização e análise dos dados (NOARDO et al., 2021). Contudo, poucas pesquisas no âmbito nacional vêm sendo realizadas em relação à padronização, racionalização e interoperabilidade dos dados, fatores que uma Infraestrutura de Dados Espaciais deve definir (CONCAR, 2017). Por este motivo é importante citar que esta pesquisa tem caráter exploratório, uma vez que se assume a pouca atenção dada às necessidades da adoção de uma norma, que padronize dados vetoriais tridimensionais gerados no âmbito nacional. Portanto, estes fatores apontados motivam esta pesquisa, além de colocar como principal base metodológica os estudos realizados por Stouffs, Tauscher e Biljecki (2018), e Machado (2021), traçando a compatibilização do CityGML 2.0 a outros padrões.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a possibilidade de compatibilização da Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geospaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0) e o padrão internacional CityGML 2.0, para a modelagem de dados de referência tridimensionais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a compatibilização dos tipos de geometria entre os padrões ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, para as edificações, vegetação e arruamento;
- Avaliar a compatibilização semântica entre os padrões ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, para as edificações, vegetação e arruamento;
- Analisar e detectar não correspondências na compatibilização.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção será realizada a revisão de literatura base para a realização desta pesquisa, a seguir estão tópicos abordando os assuntos necessários.

2.1 MODELAGEM CONCEITUAL DE DADOS GEOGRÁFICOS

Câmara e Medeiros (1998) definem um modelo de dados como sendo um conjunto de ferramentas conceituais utilizadas para descrever como a realidade geográfica será representada no sistema, este sistema pode ser entendido como um banco de dados. Já Elmasri e Navathe (2004), definem um modelo de dados sendo um conjunto de conceitos que podem ser utilizados para descrever a estrutura e as operação em um banco de dados. Ambas as definições convergem para um mesmo propósito, a descrição dos dados dentro do meio computacional. Conforme Borges e Davis (2004), o modelo procura sistematizar o entendimento que é construído a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado. Os autores ainda colocam que estes objetos e fenômenos reais, são altamente complexos para permitir sua total representação, tomando em conta os recursos dos Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) dispostos hoje em dia. Este fato torna necessária a abstração dos elementos (objetos e fenômenos) contidos no mundo real, com que seja possível obter a representação destes, porém apesar de ser uma simplificação, o modelo deve se adequar a finalidade das aplicações do banco de dados (CASANOVA *et al.*, 2005).

A modelagem do mundo real é algo complexo, pois implica na discretização do espaço como parte da etapa de abstração, objetivando representações de acordo com os fenômenos geográficos (BORGES; DAVIS, 2004). Borges e Davis (2004) listam alguns dos vários fatores por dentro desta discretização:

- Transcrição da informação geográfica em unidades lógicas de dados: por maior que seja a abstração do mundo real, uma representação sempre será uma visualização limitada do mundo real, levando em consideração que a representação pelo meio computacional é finita e discreta, caracterizada de forma geométrica;
- Forma como as pessoas percebem o espaço: a compreensão de dados espaciais é uma das características que faz a modelagem de dados

geográficos seja distinta da modelagem tradicional, pois, fica sujeito a cada usuário, experiência e da finalidade de uso, o entendimento dos elementos, este fato pode ocorrer de diferentes formas de pessoa para pessoa;

- Natureza diversificada dos dados geográficos: os dados geográficos podem ser provenientes de diversas origens. A depender de sua origem e escala, estes podem ser contínuos (geo-campo) ou individualizados (geo-objeto);
- Existência de relações espaciais (topológicas, métricas, de ordem e fuzzy): trata-se de abstrações que auxiliam o entendimento do relacionamento entre os objetos no mundo real. Estas relações espaciais são essenciais em alguns casos e precisam ser colocadas claramente no diagrama de aplicação;
- Coexistência de entidades essenciais ao processamento e entidades "cartográficas": a entidade "cartográfica" corresponde à representação de objetos do mundo real a partir de objetos lineares não relacionados, portanto, não há participação no processamento. Resumidamente, são feições ou informações que fazem parte apenas da representação, sem participar de processamentos;

Segundo Elmasri e Navathe (2004), os modelos podem ser classificados de três formas diferentes: modelos de dados conceituais; modelos de dados lógicos e modelos de dados físicos. Modelo de dados conceituais se adequam melhor na captura da semântica dos dados, por isso, modelam e especificam melhor as propriedades. Modelo de dados lógicos, também conhecido como clássicos, descrevem a estrutura de um banco de dados expondo um nível de abstração próximo da estrutura física de armazenamento de dados. Modelo de dados físicos são utilizado para descrever as estruturas físicas de armazenamento (BORGES; DAVIS, 2004). Contudo, modelos de dados para a aplicação em dados espaciais têm mais carências, a respeito da abstração de conceitos e entidades, quanto ao tipo de elementos representáveis e seu inter-relacionamento (CASANOVA *et al.*, 2005). Conforme Borges e Davis (2004), um modelo de dados para aplicação espaciais deve:

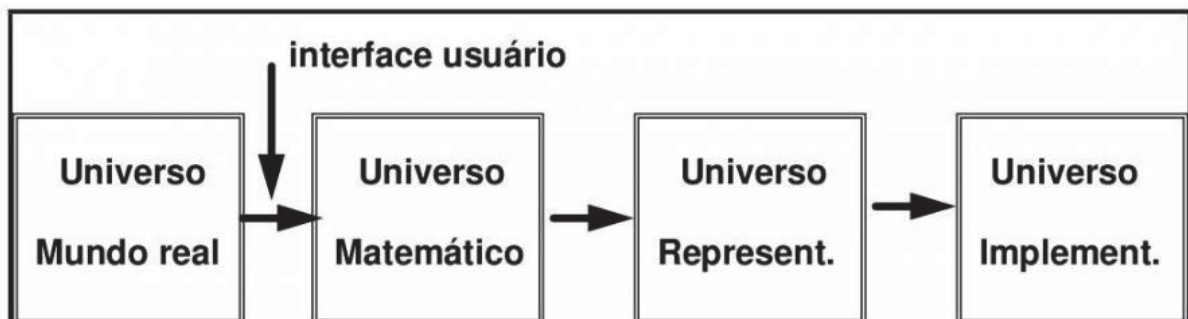
- Fornecer um alto nível de abstração;
- Representar e diferenciar diferentes estruturas de dados;
- Representar relações espaciais e suas propriedades, assim como suas associações simples e de rede;
- Ser capaz de especificar regras de integridade espacial;

- Ser independente de implementação;
- Suprir classes georreferenciadas e classes convencionais, e também os relacionamentos entre elas;
- Adequar-se aos conceitos já tidos pelo ser humano sobre os dados espaciais, representando visões de campos e objetos;
- Ser de fácil visualização e compreensão;
- Utilizar níveis de informação, que possibilite uma entidade geográfica ser associada a diversos níveis de informação;
- Representar múltiplas visões de um mesmo elemento, tanto em relação de escala, quanto várias formas de percebê-la;
- Ser capaz de expressar versões e séries temporais, assim como relacionamentos temporais.

2.1.1 Níveis de abstração de dados geográficos

Conforme citado, os modelos de dados necessitam de uma abstração para que seja possível a representação do mundo real. Com isso, os modelos de dados podem variar de acordo com o nível de abstração, Câmara e Medeiros (1998) fazem um paralelo desta variação abstração com o problema chamado "paradigma dos quatro universos" (Figura 1), sendo definido por quatro universos: Universo do mundo real, universo matemático, universo de representação e universo de implementação.

Figura 1 - Modelagem segundo o paradigma dos quatro universos.

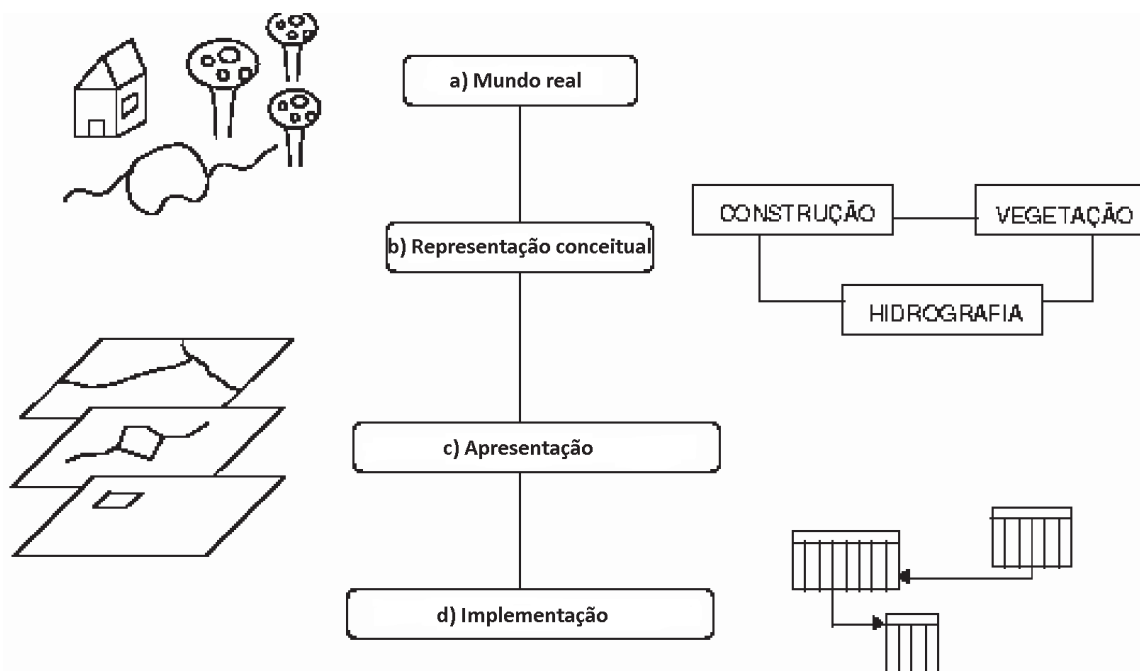


Fonte: Câmara e Medeiros (1998).

A partir deste conceito são levantados quatro níveis de abstração para dados geoespaciais: nível do mundo real, nível representação conceitual, nível de apresentação e nível de implementação (Figura 2) (CASANOVA *et al.*, 2005).

- a) Nível do mundo real: contém fenômenos geográficos reais para representar, como rios, edificações, ruas e relevo;
- b) Nível de representação conceitual: disponibiliza um conjunto de conceitos formais que possibilitam a modelagem dos dados geográficos da maneira que o usuário percebe o mundo real, com grande abstração destes dados. Neste nível são definidas as classes fundamentais, contínuas e discretas que serão utilizadas em um banco de dados. Tais classes são importantes na percepção dos objetos, pois estão ligadas diretamente com a representação espacial;
- c) Nível de apresentação: conjunto de aparatos que tornam possíveis definir os diferentes aspectos visuais dos elementos têm de assumir ao longo do seu uso em aplicações;
- d) Nível de implementação: Define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar cada tipo de representação, relacionamento entre elas, funções e métodos necessários.

Figura 2 - Níveis de especialização de aplicações geográficas.



Fonte: Adaptado de Borges e Davis (2004).

2.1.2 UNIFIED MODELING LANGUAGE

A construção de diagramas é fundamental para a modelagem de dados, portanto a mesma necessita de uma linguagem que a possibilite a construção de esquemas conceituais, esta etapa de construção dos diagramas é realizada a partir do nível de representação conceitual, permeando até o final.

UML trata-se de um acrônimo da expansão *Unified Modeling Language* (UML), por sua definição, tem como objetivo ser uma linguagem de modelagem unificada para a construção de software, esquemas e aplicações, de modo que seja possível a visualização do funcionamento e etapas do que será desenvolvido. Tais projetos que envolvem desenvolvimento devem trazer uma estabilidade, segurança e execução robusta. Isto é feito por meio de um planejamento bem estruturado utilizando a modelagem antes de sua codificação, fator que proporciona uma maior funcionalidade e cumprimento das necessidades requeridas, possibilitando mapear os relacionamentos entre funções antes do processo de codificação (UML, 2005).

Para a estruturação visual dos modelos, são utilizados diagramas que auxiliam no desenvolvimento e permitem enxergar relações existentes. Hoje¹, a última versão da UML, traz treze diagramas para se trabalhar, divididos em três categorias:

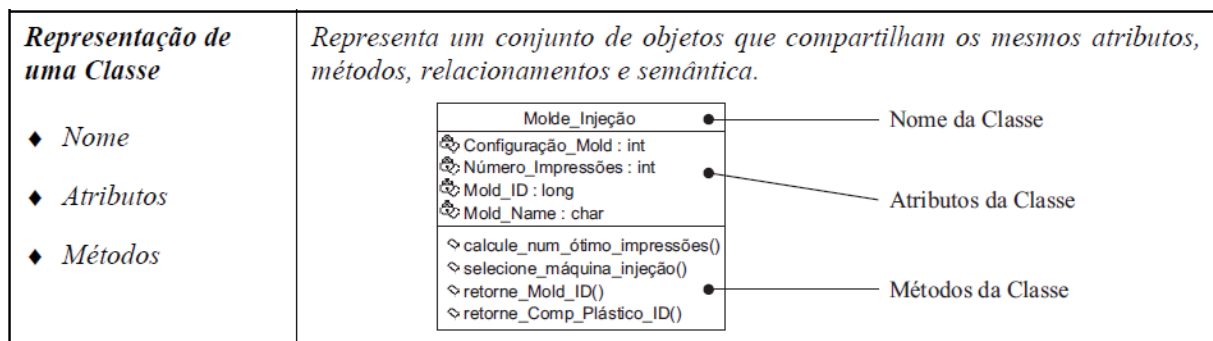
- a) Diagramas de Estrutura, tratam de aplicações estáticas, para visualizar, especificar, construir e documentar aspectos estáticos de um sistema. Podendo ser representado de seis modos, pelo diagrama de classes, diagrama de objetos, diagrama de componentes, diagrama de estruturas compostas, diagramas de pacotes e diagrama de implementação.
- b) Diagramas de Comportamento, considera os aspectos dinâmicos do sistema como representação das partes que passam por alteração. Sendo representado de três formas, pelo diagrama de casos de uso, diagrama de atividade e diagrama de máquina de estado.
- c) Diagrama de Interação, apresenta diferentes aspectos dos relacionamentos. São derivações do diagrama de comportamento mais geral, representados pelos diagramas de sequência, diagrama de comunicação, diagrama de tempo e diagrama de visão geral de interação.

¹ Consulta realizada no dia 15 de setembro de 2020.

O diagrama de classes trata de uma representação utilizada para a descrição da estrutura de um sistema, apresentando classes que contém nome, atributos e operações. Tais classes têm suas conexões estabelecidas por meio de interações, chamadas de relacionamentos. Outro fator ligado ao relacionamento entre classes são as cardinalidades (CASANOVA *et al.*, 2005).

Na UML uma classe é representada por meio de um retângulo, dividido em três partes, cada compartimento tem seu significado e espaço para diferentes informações. A primeira repartição diz respeito ao nome da classe, abaixo encontra-se a lista atributos da classe e, por fim, está o quadro de operações/métodos da classe, conforme Figura 3. Contudo, as divisões dos atributos e operações/métodos da classe são opcionais, sendo requisitos não obrigatórios na construção de um diagrama de classes.






Figura 3 - Descrição de classe.



Fonte: Adaptado de Costa (2001).

A relação entre classes representa a comunicação entre tais, podendo compartilhar informações e colaborar entre si. Estes relacionamentos podem ser realizados por Associação, Agregação, Composição, Dependência e Generalização, sendo representados de diferentes formas, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Relacionamento entre classes.

Tipos de Relacionamento de Classes	Descrição	Representação
Associação	Descreve um vínculo e determina que as instâncias de uma classe estejam ligadas a outra.	
Agregação	Demonstra que as informações de uma classe (objeto) precisam ser complementadas por um objeto de outra classe.	
Composição	Representa um vínculo mais forte, onde uma classe deve pertencer ao objeto-todo.	
Dependência	Identifica uma ligação fraca entre objetos de duas classes	
Generalização/ Especialização	Atributos e métodos definidos na classe-mãe são herdados pelas classes-filhas	

Fonte: Costa (2016).

A cardinalidade apresenta o número de elementos de uma classe que podem se relacionar com elementos de outra classe, ligados por uma relação. A seguir mostram-se possibilidades de multiplicidades (CASANOVA *et al.*, 2005).

Quadro 2 - Exemplos de cardinalidades possíveis.

Indicador	Significado
0..1	Zero ou um
1	Somente um
0..*	Zero ou mais
*	Zero ou mais
1..*	Um ou mais
3	Somente três

0..5	Zero a cinco
5..15	Cinco a quinze

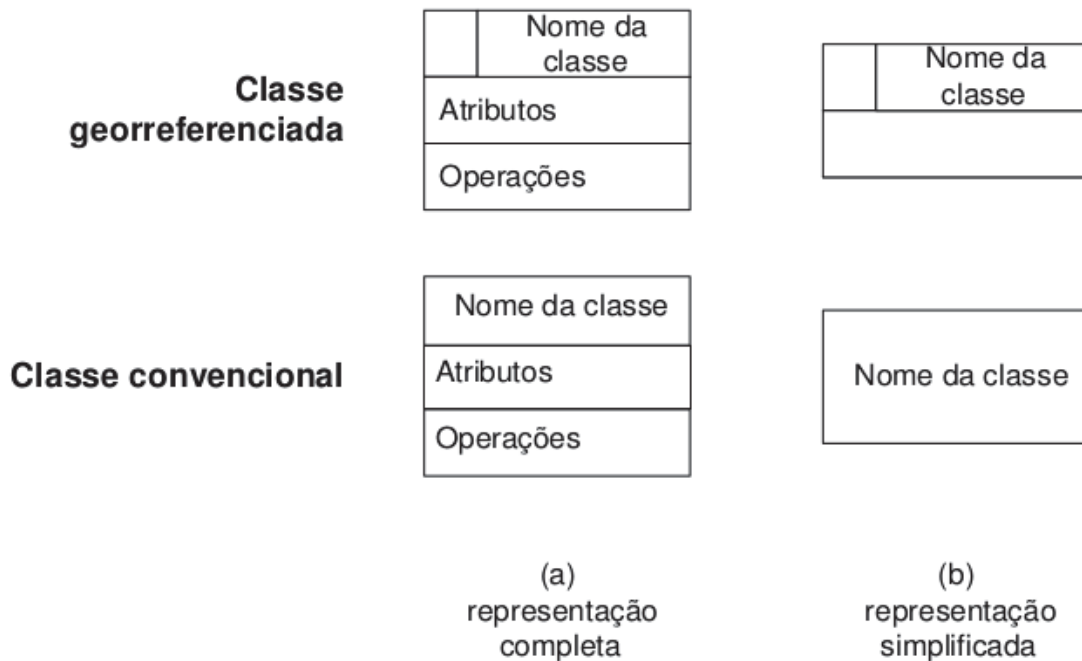
Fonte: Adaptado de Bell (2016).

2.1.3 OMT-G

O modelo *Object Modeling Technique for Geographic Applications* (OMT-G) parte das primitivas definidas para o diagrama de classes da *Unified Modeling Language* (UML), a partir da introdução de primitivas gráficas com o intuito de ampliar a capacidade de representação semântica do modelo, diminuindo a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual, portanto, os diagramas UML se aproximam das primitivas gráficas (ponto, linha e área) utilizadas para representar a superfície. Este modelo apresenta ferramentas para modelar a geometria e a topologia dos dados espaciais dando suporte a estrutura topológicas “todo-parte”, estruturas de rede, múltiplas representações de objetos e relacionamentos espaciais (CASANOVA *et al.*, 2005).

Esse modelo baseia-se em três princípios fundamentais: classes, relacionamento e restrições de integridade espacial. As classes e relacionamentos são primitivas básicas que são utilizadas para a criação de esquemas de aplicação (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001). Classes podem ser convencionais ou georreferenciadas, em classes convencionais não há nenhuma característica espacial, se assemelhando totalmente as classes descritas em UML. Já para classes georreferenciadas, as informações podem ser de dois tipos: associados a feições do mundo real (geo-objeto) ou distribuídas continuamente pelo espaço (geo-campo) (HORA, 2010). Geo-objeto representam objetos espaciais particulares, individualizáveis, associados a elementos do mundo real (HORA, 2010). Geo-campo são representações de objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, como relevo e geologia (CAMARA, 1995). Sendo representadas conforme Figura 4:

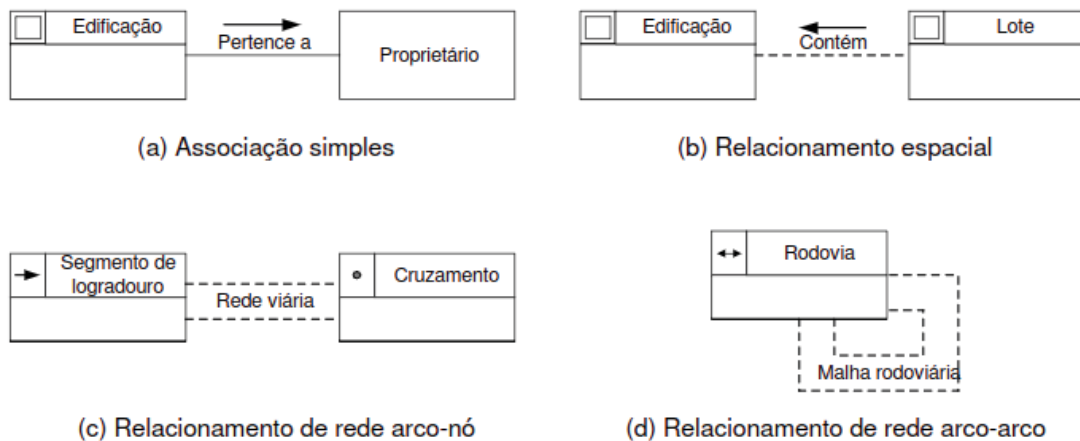
Figura 4 - Tipos de classes OMT-G.



FONTE: Casanova *et al.* (2005).

Assim como as classes os relacionamentos também podem ser convencionais ou espaciais. Estes relacionamentos entre classes podem ser classificados de três formas: associação simples, relacionamentos topológicos em rede e relacionamentos espaciais (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001). Associações simples relacionam duas classes, ela sendo convencional ou espacial, sendo representado por uma linha contínua. Relacionamentos espaciais abordam questões de topologia (contém, sobrepõe, etc), métrica, de ordem e *fuzzy*, sendo representados por uma linha tracejada. Nos relacionamentos em rede são relacionados a feições que estão conectados entre si, tendo a representação por meio de uma linha dupla tracejada (CASANOVA *et al.*, 2005). Os relacionamentos ainda levam a anotação de cardinalidade, da mesma forma que é feita pela UML, indicando através de números quantidades, reticências para denotar faixas e asterisco para representar “muitos” (DAVIS; LAENDER, 2000).

Figura 5 - Tipos de relacionamentos OMT-G.



Fonte: Casanova *et al.* (2005).

O modelo OMT-G apresenta algumas restrições de integridade espacial, que são definidas a partir das primitivas do modelo ou análise dos diagramas. As restrições de integridade topológica são formadas através de regras para geo-campos, relacionamentos espaciais, relacionamento em rede e agregações espaciais. Já as restrições de integridade semântica são definidas a partir de regras relacionadas ao relacionamento espacial. Por fim, as restrições de integridade formuladas pelo usuário podem ser modeladas como métodos associados a cada classe (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

Além destas características, o modelo OMT-G possibilita o uso de três diferentes tipos de diagramas no processo de desenvolvimento de uma aplicação geoespacial, o diagrama de classes, diagrama de transformação e diagrama de apresentação. Sendo mais comumente o uso do diagrama de classes, expondo as representações e relacionamentos, ao se ter múltiplas representações ou a derivação da classe é necessário o uso do diagrama de transformação, para especificar os processos essenciais na implementação. Com isso, o diagrama de apresentação dispõe as alternativas para a visualização que a representação poderá assumir (CASANOVA *et al.*, 2005).

Apesar de todas estas características, visando a modelagem de dados tridimensionais, deve-se citar que este modelo de dados foi projetado e voltado para dados bidimensionais e de acordo com as tecnologias dispostas no período de seu desenvolvimento. Esse fato corrobora com a dificuldade da modelagem conceitual de dados tridimensionais a partir do mesmo, pois, como foi visto suas restrições de

integridade espacial são fortemente voltadas a relações bidimensionais, tanto na questão topológica quanto na semântica. Outra limitação para o modelo OMT-G, citada por Hora (2010) relacionada a modelagem de banco de dados espaciais, é que o mapeamento de esquemas físicos de banco de dados espaciais ainda não foi completamente definido.

2.2 ET-EDGV

Uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) deve definir padrões para os dados que a constituem, estas podem ser apresentadas como Especificações Técnicas, portanto, a fim de satisfazer esta necessidade prevista no Sistema Cartográfico Nacional (SCN) apresenta-se a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0), sendo uma norma do Mapeamento Sistemático Terrestre brasileiro e um dos padrões adotados pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), com o objetivo de padronizar, racionalizar e prover interoperabilidade a dados espaciais vetoriais oficiais relativas as escalas 1:1.000 e menores, sua modelagem é baseada no UML 2.4.1 e OMT-G (CONCAR, 2017).

Para evitar interpretações errôneas, nesta norma foram adotadas duas denominações:

- Dados do Mapeamento Topográfico em Pequena Escala (MapTopoPE) atende a escala de visualização 1:25.000 e menores, comumente conhecida no Mapeamento Sistemático brasileiro como Cartografia Básica.
- Dados do Mapeamento Topográfico em Grande Escala (MapTopoGE) atende escalas de visualização maiores que 1:25.000 até 1:1.000, conhecido também como Cartografia Cadastral realizada pelos municípios.

No modelo conceitual, há algumas subdivisões e seções formadas, como as Categorias de Informação e as Classes de Objetos, sua representação é feita por meio de Diagramas de Classe.

As categorias de informação são divididas em dois grandes grupos pelas denominações MapTopoPE e MapTopoGE. Então são feitos desdobramentos dentro destes, formando grupamentos de feições com um mesmo aspecto funcional comum, porém, para o MapTopoGE nem sempre é possível seguir esta lógica. Estes dois grupos e categorias de informação são:

Figura 6 - Categorias de informação MapTopoPE.

Anexo A Seção 1	Categoria	Definição
Seção 1.1	Energia e Comunicações (ENC)	Agrupa as feições que representam as estruturas físicas associadas à geração, transmissão e distribuição de energia, bem como as de comunicação.
Seção 1.2	Estrutura Econômica (ECO)	Agrupa as feições que representam as estruturas físicas onde são realizadas atividades para produção de bens e serviços em geral.
Seção 1.3	Hidrografia (HID)	Agrupa as feições que representam o conjunto das águas interiores e oceânicas da superfície terrestre, bem como elementos, naturais ou artificiais, emersos ou submersos, contidos nesse ambiente.
Seção 1.4	Limites e Localidades (LML)	Agrupa as feições que representam os distintos limites e os diversos tipos de concentração de habitações humanas.
Seção 1.5	Pontos de Referência (PTO)	Agrupa as feições que representam os elementos que servem como referência a medições em relação à superfície da Terra ou de fenômenos naturais.
Seção 1.6	Relevo (REL)	Agrupa as feições que representam a forma da superfície da Terra e do fundo das águas tratando, também, os materiais expostos, com exceção da cobertura vegetal.
Seção 1.7	Saneamento Básico (SAB)	Agrupa o conjunto de estruturas físicas associadas ao saneamento básico relativo às etapas de captação, armazenamento e distribuição de água, bem como às relativas aos resíduos sólidos e líquidos.
Seção 1.8	Sistema de Transporte (TRA)	Agrupa os subsistemas destinados ao transporte e deslocamento de carga e passageiros, bem como as estruturas de suporte ligadas a estas atividades e as feições de uso geral relacionadas a este tema.
Seção 1.9	Sistema de Transporte/ Subsistema Aeroportuário (AER)	Agrupa o conjunto de feições destinadas ao transporte aeroportuário, as atividades de deslocamento de carga e passageiros, bem como as suas estruturas de suporte relacionadas.
Seção 1.10	Sistema de Transporte/ Subsistema Dutos (DUT)	Agrupa o conjunto de feições destinadas ao transporte em dutos, bem como as suas estruturas de suporte relacionadas.
Seção 1.11	Sistema de Transporte/ Subsistema Ferroviário (FER)	Agrupa o conjunto de feições destinadas ao transporte ferroviário, as atividades de deslocamento de carga e passageiros, bem como as suas estruturas de suporte relacionadas.
Seção 1.12	Sistema de Transporte/ Subsistema Hidroviário (HDV)	Agrupa o conjunto de feições destinadas ao transporte hidroviário, as atividades de deslocamento de carga e passageiros, bem como as suas estruturas de suporte relacionadas.
Seção 1.13	Sistema de Transporte/ Subsistema Rodoviário (ROD)	Agrupa o conjunto de feições destinadas ao transporte rodoviário, as atividades de deslocamento de carga e passageiros, bem como as suas estruturas de suporte relacionadas.
Seção 1.14	Vegetação (VEG)	Agrupa as feições que representam, em caráter geral, os diversos tipos de vegetação natural e cultivada.

Fonte: CONCAR (2017).

Figura 7 - Categorias de informação MapTopoGE.

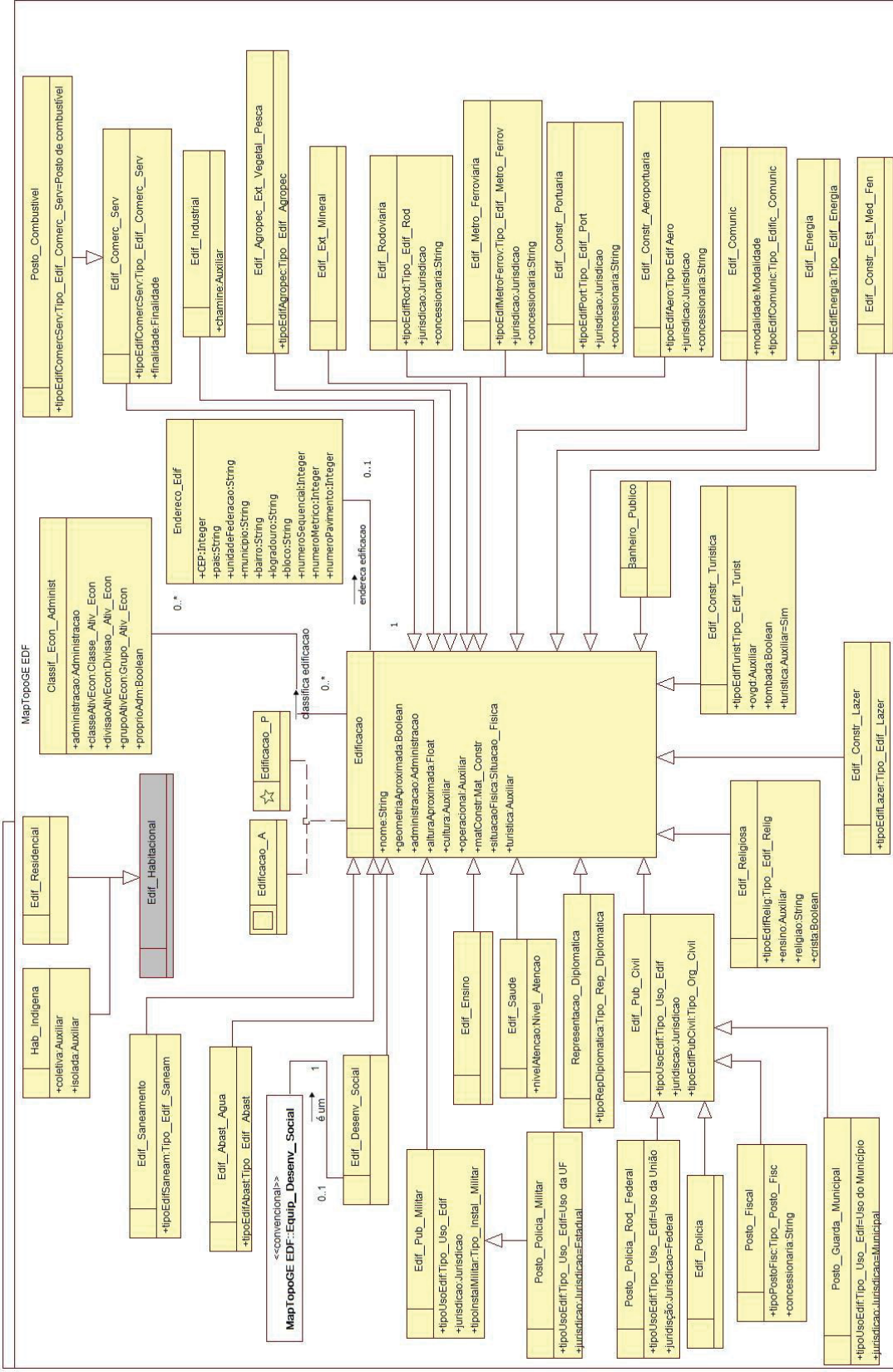
Anexo A Seção 2	Categoria	Definição
Seção 2.1	Área Verde (VER)	Agrupar as feições que representam os espaços urbanos públicos com predomínio de vegetação.
Seção 2.2	Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas (CBGE)	Agrupar as feições que representam as classes consideradas básicas e de uso comum no Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas, com exceção das feições altimétricas.
Seção 2.3	Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas/ Cultura e Lazer (LAZ)	Agrupar as feições que representam as estruturas físicas dos sistemas associados à cultura, lazer e esporte.
Seção 2.4	Edificações (EDF)	Agrupar as feições que representam os diferentes tipos de edificações no contexto urbano e rural.
Seção 2.5	Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas/ Estrutura de Mobilidade Urbana (EMU)	Agrupar as feições que representam as estruturas físicas relacionadas aos deslocamentos de pessoas e bens dentro de um espaço urbano.

Fonte: CONCAR (2017).

As classes de objetos são agrupamentos estabelecidos a partir de feições com características e comportamentos comuns. Este fato faz com que classes do MapTopoPE e MapTopoGE sejam comuns entre si, porém, podendo variar na representação geométrica devido a escala e generalização cartográfica. Estas classes de objetos foram definidas a partir da verificação de feições comumente mapeadas no espaço geográfico brasileiro. Devido ao grande volume de representações, as classes de objetos não serão apresentadas aqui, para visualização completa recomenda-se o acesso a CONCAR (2017).

Como exemplo da representação conceitual para Edificações, no MapTopoGE, ver a Figura 8.

Figura 8 - Diagrama de classes para a categoria de informação Edificações.



Fonte: CONCAR (2017).

2.3 CITYGML

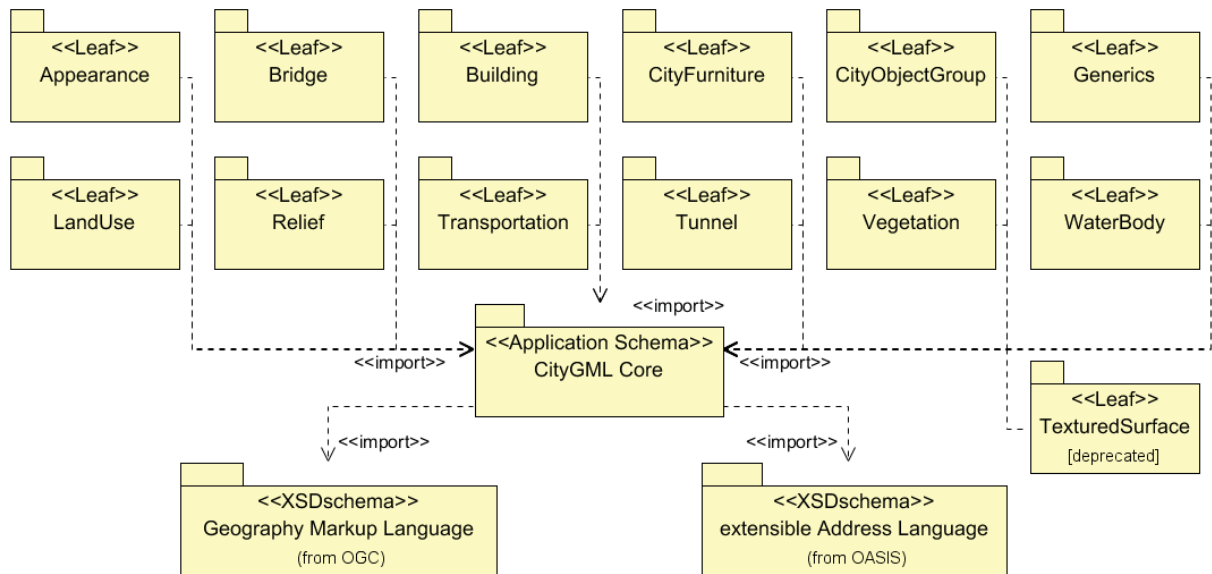
City Geography Markup Language (CityGML) é um modelo de dados padronizado internacional, tem como objetivo a modelagem, armazenamento e troca de dados tridimensionais de cidades, sendo baseado em XML. Este modelo é uma aplicação para a versão *Geography Markup Language 3.1.1* (GML3), a linguagem internacional de dados espaciais publicado pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC) e *International Organization for Standardization* (ISO TC211). Seu uso pode ser realizado em diversas áreas como planejamento urbano, telecomunicações móveis, gerenciamento de desastres, cadastro tridimensional, turismo, navegação de veículos e pedestres (OGC, 2012).

O padrão CityGML idealizado para a representação urbana em 3D, define classes e relações para os objetos topográficos relevantes nas cidades levando em consideração a geometria, topologia, informações semânticas e aparência. Além disso, possibilita a descrição de características geográficas, por meio de módulos temáticos, como *CityGML Core* (núcleo de aplicações), *Appearance* (aparência ou aspecto), *Bridge* (pontes), *Building* (edificações), *CityFurniture* (equipamentos urbanos), *CityObjectGroup* (grupos de objetos urbanos), *Generics* (objetos em geral), *LandUse* (uso da terra), *Relief* (relevo), *Transportation* (transporte, ruas e passagens), *Tunnel* (túneis), *Vegetation* (vegetação), *WaterBody* (corpos d'água) e *TexturedSurface* (textura das superfícies). Cada módulo aborda diferentes questões (Figura 9):

- *CityGML Core*: aqui são definidas as componentes básicas do modelo, incluindo classes abstratas, das quais as classes temáticas são derivadas. Porém, também são definidos atributos não abstratos, comuns entre mais de um módulo;
- *Appearance*: este módulo apresenta os meios necessários para a representação de aparências das superfícies. Relacionando-se diretamente com classes abstratas, criadas a partir do módulo *Core*, impactando em todos os módulos temáticos;
- *Bridge*: dentro deste módulo são representados aspectos temáticos e espaciais de pontes, suas componentes, instalações e estrutura interior;

- *Building*: responsável por alocar as representações temáticas e espaciais de construções, suas partes, instalações e interior, dependendo do nível de detalhe abordado;
- *CityFurniture*: esse módulo é reservado para a representação de aparatos da cidade, sendo objetos imóveis, como postes de iluminação, placas de trânsito e publicidade, bancos de praça e pontos de ônibus;
- *CityObjectGroup*: o módulo abordado traz o conceito de agrupamento, podendo-se agrupar os objetos da cidade por meio de critérios definidos pelo usuário, sendo classificados por meio de atributos, como por exemplo, bairros, loteamentos, regionais, etc;
- *Generics*: aqui é fornecida extensões genéricas ao modelo de dados CityGML que podem ser usadas para modelar e trocar atributos e feições adicionais não cobertas pelas classes temáticas pré-definidas do CityGML, mas estes atributos e classes não podem ser fornecidos por nenhum outro módulo;
- *LandUse*: representa uma área da superfície terrestre, na qual tenha um único uso;
- *Relief*: este módulo permite mostrar espacialmente a disposição do terreno, a topografia, a partir de uma nuvem de pontos ou até por uma *Triangular Irregular Network* (TIN);
- *Transportation*: dentro do módulo *Transportation*, são armazenadas as feições de transporte da cidade, como estradas, trilhas e ferrovias;
- *Tunnel*: módulo responsável pela representação de túneis e suas instalações;
- *Vegetation*: utilizando para a representação da vegetação, sendo estas esparsas ou biótipos mais densos;
- *WaterBody*: expõe características temáticas e espaciais tridimensionais de corpos d'água, porém, até a presente versão do modelo, não aborda aspectos relacionados a qualidade da água;
- *TexturedSurface*: permite que texturas sejam adicionadas às feições, mas tal módulo é tido como obsoleto, pelo fato do módulo *Appearance* cumprir basicamente o mesmo papel, em futuras versões espera-se que *TexturedSurface* seja removido;

Figura 9 - Diagrama do conjunto UML ilustrando os módulos (classes) CityGML.

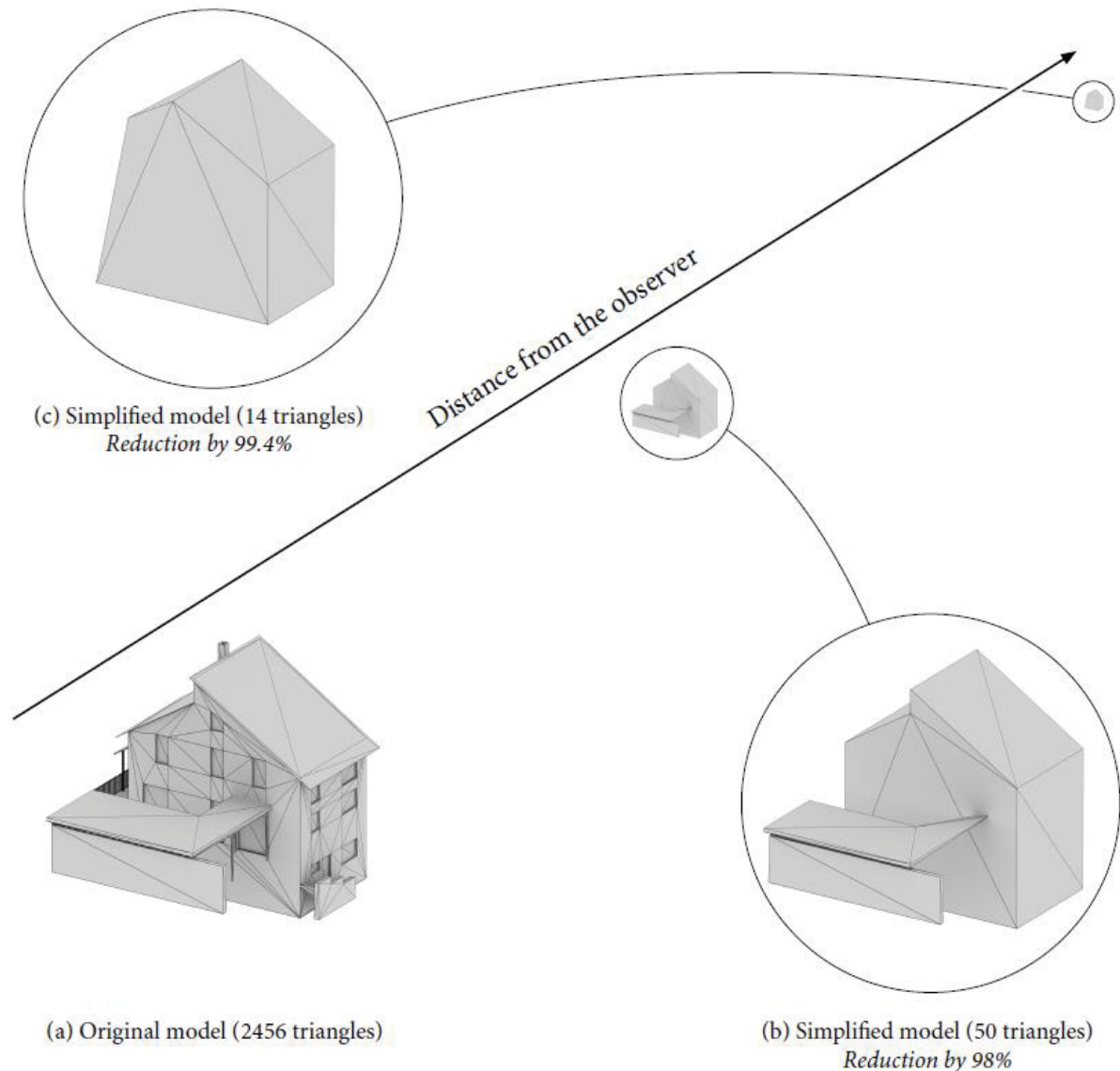


Fonte: OGC (2012).

A Figura 9 apresenta a relação de módulos temáticos do padrão CityGML 2.0, onde todos os módulos temáticos têm dependência do esquema de aplicação, o módulo temático CityGML Core. Como podemos observar também, o módulo temático central CityGML Core depende dos padrões *Geography Markup Language* (GML) e *extensible Address Language* (xAL), pois o CityGML faz uso do padrão GML para as geometrias, que são baseadas na ISO 19107:2003 (ISO/TC211, 2003), e do padrão xAL (OASIS, 2002) para a descrição dos endereços.

Outra característica importante do modelo são os *Level Of Detail* (LOD), que retratam o nível de detalhe da representação, este termo tem sua origem na Computação Gráfica (CG), conforme Biljecki (2017) coloca este assunto foi abordado pela primeira vez por James Clark (CLARK, 1976) propondo o uso de elementos mais simples de uma geometria para modelos 3D e seu nome está intimamente relacionado a modelagem de cidades 3D. Porém, o LOD em CG é dado de acordo com a quantidade de triângulos que formam a cena, conforme Figura 10.

Figura 10 - *Level of detail* em computação gráfica.

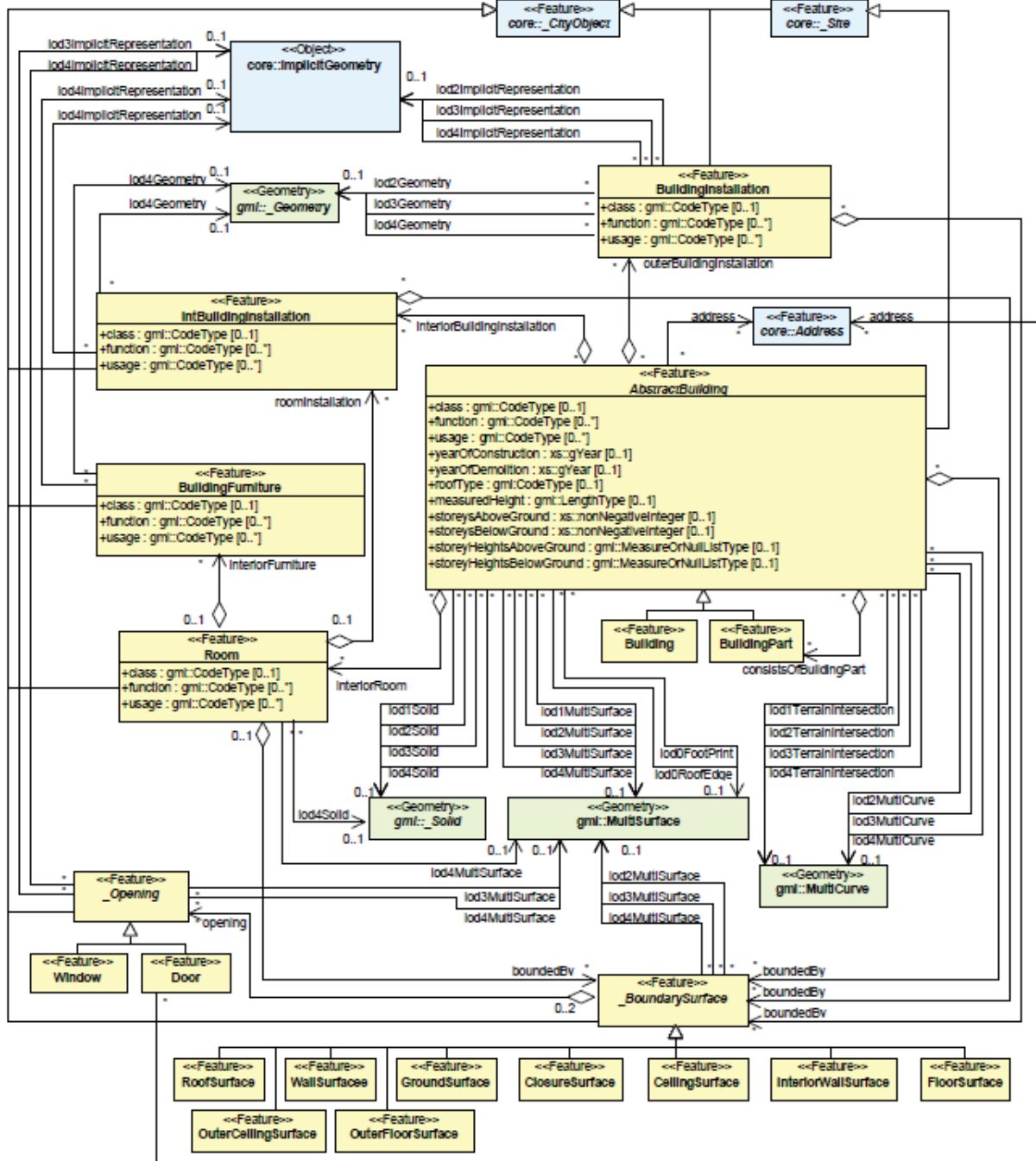


Fonte: Biljecki (2017).

A Figura 10 mostra os modelos a, b e c, sendo representados de acordo com a distância (escala) que o observador a vê, com isso, são dados os níveis de detalhe em cada representação, sendo: para o modelo original (a) o nível de detalhe é de 2456 triângulos; para o modelo simplificado (b) em 98% o nível de detalhe é 50 triângulos; e para o modelo simplificado em 99% o nível de detalhe é 14 triângulos. Porém, a organização do LOD no padrão CityGML 2.0 segue algo mais próximo do estabelecido pela *U.S. General Services Administration* (GSA) no processo de produção do modelo de informação em *Building Information Modeling* (BIM), que é organizado em 5 etapas

(GSA, 2021): LOD100 (conceitual); LOD200 (geometria aproximada); LOD300 (geometria precisa); LOD400 (geometria precisa); e LOD500 (as-build).

Figura 11 - Exemplo da modelagem conceitual (*Building*).



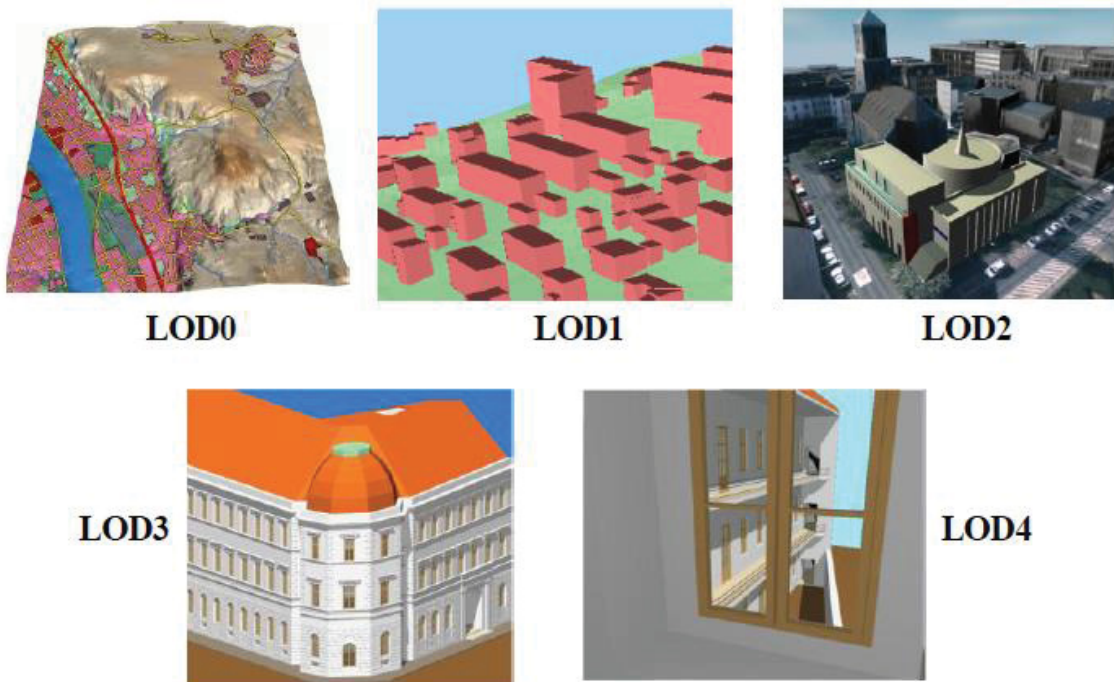
Fonte: OGC (2012).

Os níveis de detalhe do CityGML 2.0 estão descritos nos relacionamentos entre as classes, conforme Figura 11. Um exemplo são os relacionamentos traçados entre a classe `_AbstractBuilding` e a classe `gml::MultiSurface` onde são descritos em

cada relacionamento o LOD possível de representação para a classe através da geometria, e relacionam-se diretamente com a simbologia, pois quanto maior o nível de detalhe melhor representada será a feição em relação a realidade. O LOD utilizado no CityGML 2.0 é organizado em cinco níveis (Figura 12):

- LOD0: sendo o mais básico, é essencialmente o Modelo Digital de Terreno (MDT), representando as edificações por meio de polígonos projetados na superfície;
- LOD1: neste nível as edificações passam a ter suas representações por meio de blocos, sem o detalhamento de telhado, janelas e portas;
- LOD2: diferentemente do LOD1, neste é possível ter um maior detalhamento, como a inclinação dos telhados de acordo com a realidade e a inserção de texturas as superfícies da estrutura;
- LOD3: trata-se de um detalhamento do LOD2, tendo todos os detalhes externos da edificação, como portas, janelas e afins, sendo um modelo muito próximo a edificação real, em relação ao seu exterior;
- LOD4: é um complemento para a LOD3, abordando além dos aspectos geométricos externos, também toda a parte interna (*indoor*) e seus detalhes.

Figura 12 - Level Of Detail (LOD) CityGML.



Fonte: IGG Uni Bonn (2020).

2.4 CARTOGRAFIA TRIDIMENSIONAL (3D)

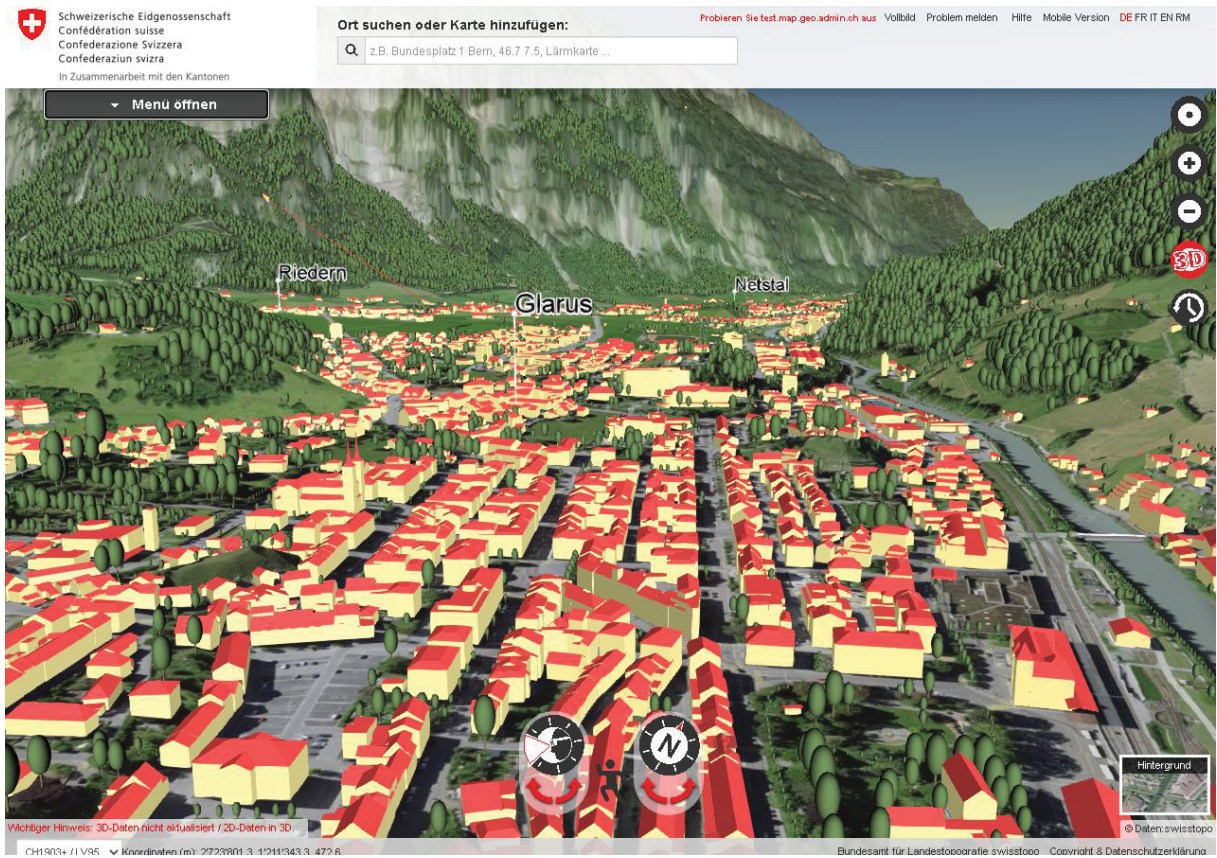
Não há muitas definições do termo “Cartografia 3D” e “Representação 3D”, porém, ambas se confundem e acabam tendo o mesmo significado. Segundo Fosse (2008), pelo fato do mundo ser mais próximo da dimensão 3 (3D), é razoável pensar que mapas também tridimensionais (mapas 3D) sejam melhores entendidos que um plano. Haerberling (2002) explica as razões pelas quais devemos utilizar o termo “mapa 3D”, “3D” é utilizado pelo fato de nosso sistema de percepção entender a paisagem de modo tridimensional, mesmo sendo exibida no meio bidimensional (tela, papel, entre outros). “Mapa”, é empregado pois estes produtos integram e exibem elementos espacialmente ordenados na superfície terrestre, seguindo convenções de simbologias e de generalização cartográfica. É válido citar que o termo “mapa 3D” é conhecido em algumas obras como visão em perspectiva, porém, se sugere o uso do termo “mapa” (HAEBERLING; BÄR; HURNI, 2008).

Conforme Bandrova (2001), um mapa 3D é definido como uma representação digital, geométrica e tridimensional da Terra, superfícies, objetos e elementos da natureza e da sociedade, estes objetos e elementos são classificados, projetados e visualizados de acordo com um objetivo. Estes mapas, então são uma junção do Modelo Digital de Terreno (MDT), modelos 3D de objetos e símbolos 3D (YONOV; BANDROVA, 2018). Yonov e Bandrova (2018) colocam que estes modelos 3D apresentados junto aos mapas, podem ser utilizados em diversas áreas como: planejamento urbano; cadastro 3D; gerenciamento de desastres; entre outros, não sendo exclusivo de representação em forma de mapa. Os mapas 3D podem ser confeccionados de diferentes formas, onde cada uma criará representações diferentes (PEGG, 2012). Tais mapas podem ser fotorrealistas, criando uma representação muito próxima da realidade, para apresentar a localização dos objetos e informações (PEGG, 2012).

Yonov e Bandrova (2018) classificam mapas 3D, em relação a representação, da seguinte forma:

- Mapa 3D real (Figura 13): São construídos a partir de modelos tridimensionais reais. Eles têm capacidade de ter aplicações iterativas, movimento iterativo com o usuário em tempo real, animações, entre outras;

Figura 13 - Mapa 3D real.



Fonte: <https://map.geo.admin.ch>.

- Mapa 3D pseudodimensional (Figura 14): trata de mapas bidimensionais (2D) apresentação em vista perspectiva, gerando imagens com a percepção de tridimensionalidade;

Figura 14 - Mapa 3D pseudodimensional.



Fonte: <https://www.neiu.edu/brand/graphic-elements/university-maps>.

- Desenho panorâmico (Figura 15): definido como sendo um modelo perspectivo artístico, porém, eles não têm precisão geométrica e valor cartográfico, tendo diversas finalidades, como: artísticas; turísticas; históricas; entre outras.

Figura 15 - Desenho panorâmico.



Fonte: <http://www.cartografiahistorica.usp.br>.

Porém, Petrovič (2003) coloca que para uma representação ou modelo tridimensional ser um mapa 3D, deve satisfazer certas condições presentes também em representações de referência tradicionais (2D), em papel. São eles:

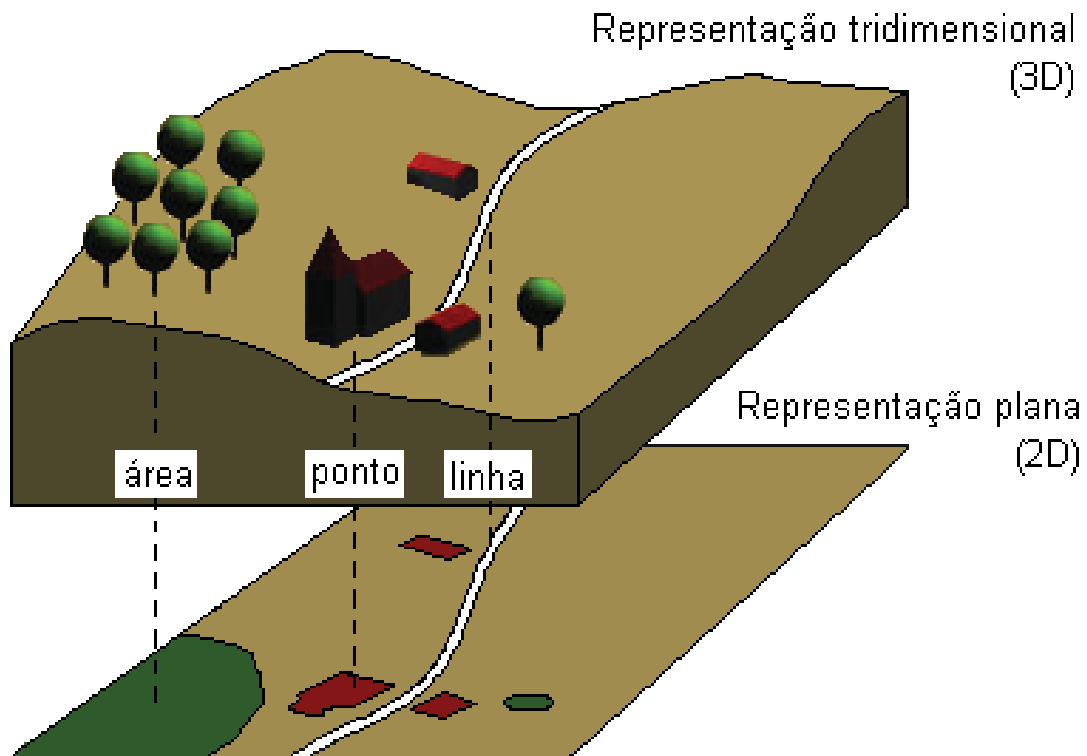
- Os elementos representados são projetados em um sistema de coordenadas e seus valores de deformação são conhecidos, de acordo com a projeção cartográfica;
- Os objetos representados têm suas posições geográficas conhecidas, em um sistema de referência, o qual seja disponível a todos;
- Fazer uso de uma simbologia que possibilite a comunicação entre o usuário e o mundo;
- A quantidade de informações no mapa deve ser adequada aos princípios de generalização cartográfica geométrica e semântica.

Além disso, Haerberling (1999) expõe que mapas tridimensionais mantêm alguns aspectos relevantes de mapas topográficos tradicionais (2D):

- A posição espacial de todos os elementos é bem definida e a extração da mesma deve ser possível ao usuário, resumidamente, as coordenadas de cada elemento são conhecidas e permitem que o usuário as extraia;
- Todas as feições mapeadas devem pertencer a categorias bem estabelecidas, por exemplo, a partir do momento em que se pretende representar uma porção da superfície terrestre deve-se ter claramente quais elementos serão relevantes para tal representação de acordo com seu objetivo, portanto, ao saber quais elementos são relevantes e devem ser adquiridas suas coordenadas, estas feições são separadas em categorias (vegetação, edificação, malha viária, rede de energia, entre outros);
- Deve ser possível diferenciar facilmente as categorias das feições pré-estabelecidas, por meio da cor, saturação da cor, brilho da cor ou forma.

Uma representação tridimensional deve ser construída a partir do modelo de terreno e os elementos sobre este, simbolizados apropriadamente (PETROVIČ, 2003). Contudo, esta afirmação é muito mais complexa do que sugere ser, pois, conforme já levantado há algum tempo, por Kraak (1988), alguns estudos fazendo uso do relevo, somado a visão perspectivas, ferramentas (simulação de sombra causada pelo relevo) que possibilitam o entendimento tridimensional e formas geométricas simples, podem ser denominadas como uma representação tridimensional. A partir destes fatos e diante tantos estudos já citados em torno de representações tridimensionais, é possível detectar que muitas questões referentes a este assunto não estão totalmente definidas ainda. Fosse (2008) coloca que em mapas planos, as feições são representadas através das primitivas gráficas ponto, linha e área, porém, em mapas 3D estas primitivas devem ser acrescidas de mais uma dimensão (Figura 16). Esse fator pode fazer com que a representação tenha alguma mudança aparente na disposição, causando uma percepção diferente ao mapa plano.

Figura 16 - Região representada em 2D e 3D.



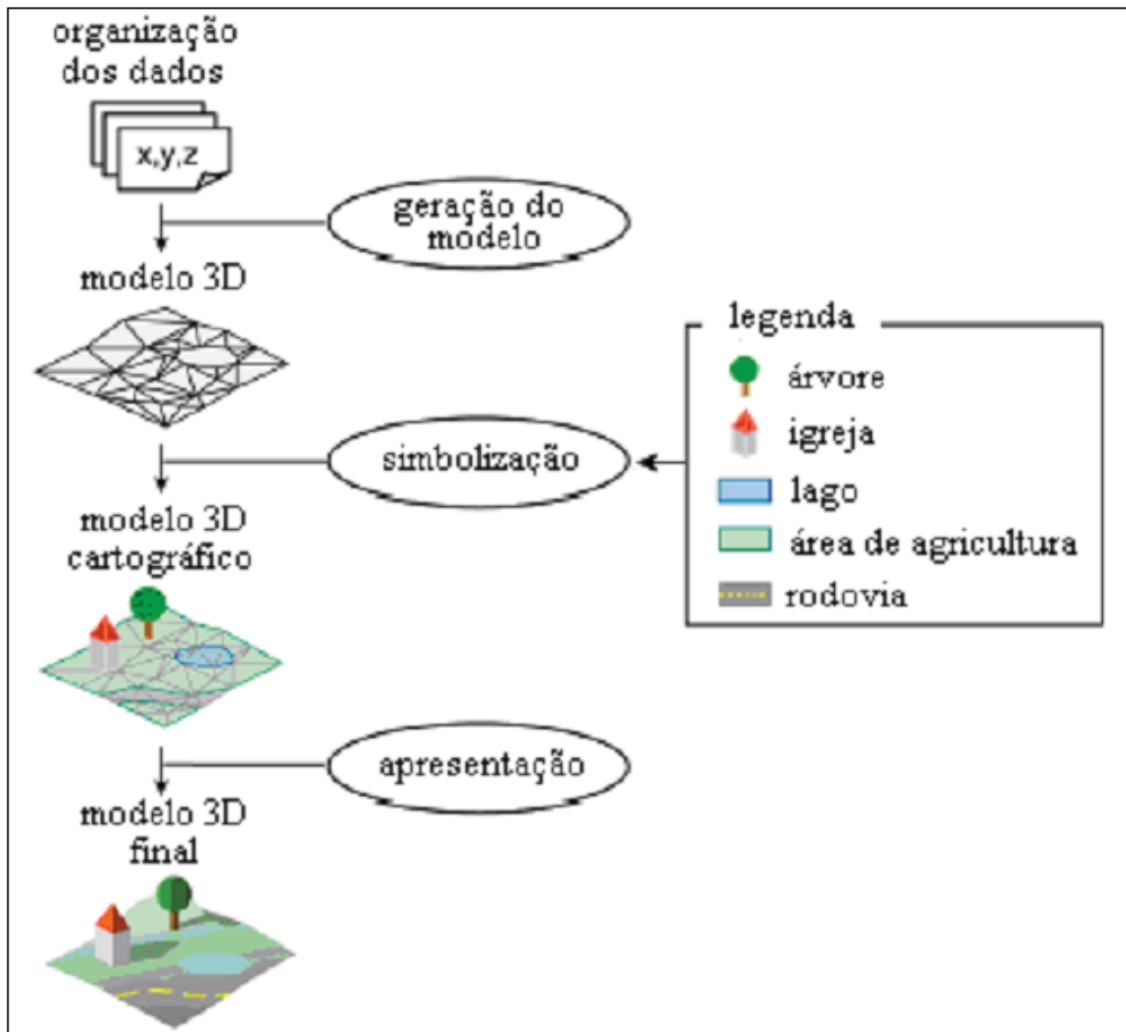
Fonte: Fosse (2008).

Como exemplo de mudança aparente no mapa ao se mudar de dimensão, na Figura 16, a representação bidimensional consta três edificações, uma com maior dimensão e outras duas menores, se notarmos a de maior dimensão não conseguimos ter a noção se a edificação é uma casa, comércio ou qualquer outro tipo de edificação. Contudo, quando passamos a observar a representação tridimensional, conseguimos notar todas as três edificações, porém, a de maior dimensão citada na representação bidimensional agora pode ser entendida como uma igreja pelo seu formato característico.

Segundo Haerberling, Bär e Hurni (2008), a criação de um mapa 3D pode ser dividida em três etapas: modelagem, simbolização e visualização (Figura 17), partindo do princípio que a organização dos dados já tenha um referencial, no qual cada um contribui com a próxima, gerando um fluxo de trabalho iterativo e que pode ser repetido inúmeras vezes quanto necessário (TERRIBILINI, 2001), caso o produto final tenha um resultado negativo, com falhas na geometria, comunicação cartográfica falha ou que não tenha alcançado o objetivo para o qual foi proposto.

A Figura 17 apresenta o fluxo de trabalho para a criação de mapas topográficos 3D, à esquerda da imagem estão dispostos os produtos gerados após cada etapa, os processos para geração dos produtos estão de modo textual no centro da figura e a direita a legenda representação. Com isso, o primeiro produto são os dados brutos (organização dos dados), que passa pelo processo de geração do modelo, onde é feito o georreferenciamento dos dados (caso os dados já não tenham um referencial), tratamento para evitar erros (verificação da qualidade), modelagem dos dados (categorização dos dados, estabelecimento do modelo digital de terreno), gerando ao fim o modelo 3D. Em seguida, o modelo 3D passa pelo processo de adoção da simbologia, por se tratar de um mapa topográfico, padrões voltados para a simbologia deste tipo de mapa são seguidas, gerando então o modelo 3D cartográfico. Por fim, o processo de apresentação é aplicado com a impressão do mapa ou publicação da Web para os usuários utilizarem ou interagir, resultando no mapa topográfico 3D (modelo 3D final).

Figura 17 - Passos a criação de mapas topográficos 3D.



Fonte: Adaptado de Haerberling (1999, *apud* SCHMIDT, 2012, p. 71).

Schmidt (2012) a partir de diversos estudos (FOSSE, 2008; FOSSE; CENTENO; SLUTER, 2008; HAEBERLING, 1999, 2002; HAEBERLING; BÄR; HURNI, 2008; PETROVIČ, 2003; TERRIBILINI, 1999), entende que cada etapa de construção de um mapa topográfico 3D os elementos podem ser trabalhados individualmente, sendo denominados:

- Aspectos do modelo: grupo de características com relação ao modelo geométrico das feições e organização no sistema de visualização. De forma mais simples, se trata dos objetos em modo de estrutura *wireframe* nos softwares CAD e montagem de cena. Estes aspectos são abordados na geração do modelo, resultando no modelo 3D (Figura 17);
- Aspectos gráficos: conjunto estabelecido por variáveis visuais, como as definidas por Bertin, estes grupos são separados por posição, forma, tamanho,

cor e brilho. Porém, com o avanço da tecnologia alguns artifícios, como a inserção de imagens nas fachadas de edificações, possibilitaram que o aspecto gráfico pudesse ser apresentado de forma mais fotorrealística, diferentemente das variáveis levantadas por Bertin, estes aspectos estão presentes na etapa de simbolização na Figura 17. Contudo, conforme Pegg (2012) a simbologia é a maior questão do mapeamento 3D, e nesta, o que realmente importa é uma comunicação bem-sucedida com o leitor, independentemente de como seja realizada levando em consideração padrões e normas vigentes, assim como estudos sobre a temática de comunicação cartográfica.

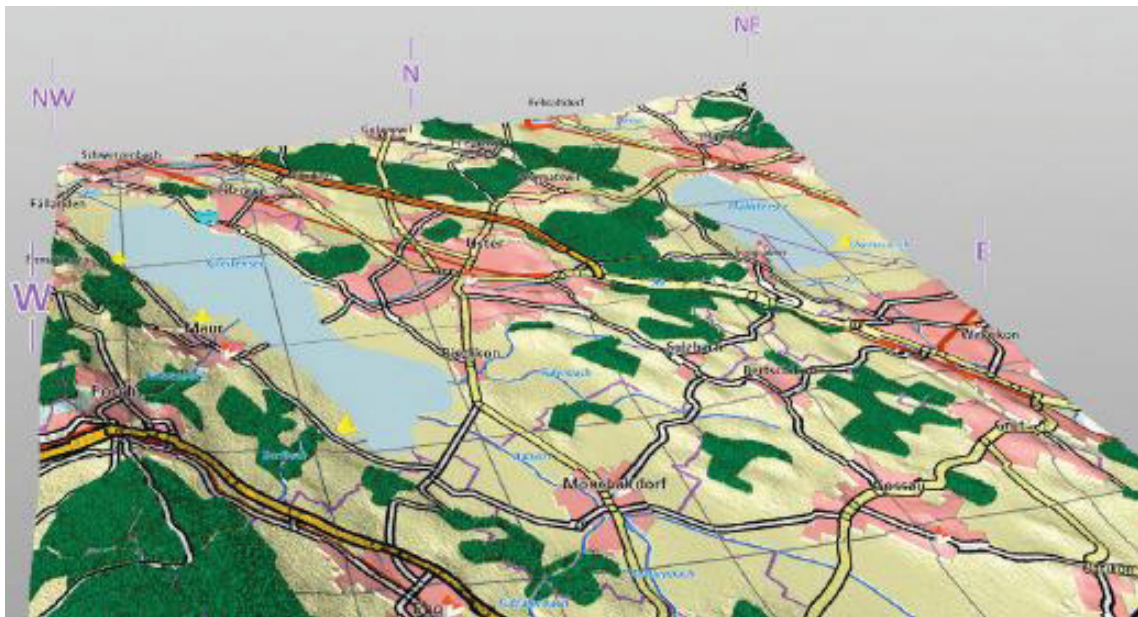
- Aspectos de visualização: agrupamento de características que age na percepção da simbologia, formado pela iluminação da cena, sombras relacionadas a posição relativa dos elementos e da posição da iluminação, efeitos atmosféricos e ambientais, estruturado céu (cor e esmaecimento), parâmetros da câmera (abertura e profundidade de campo) e nível de detalhe, estes aspectos são abordados no processo de apresentação (Figura 17).

Haeberling (2002) em seu estudo sobre símbolos de mapas 3D estáticos, apresenta as variações sofridas pelas variáveis visuais e traz novas variáveis presentes em um mapa 3D, referente ao aspecto gráfico:

- Forma: pelo fato da geometria ser tridimensional, a forma dos elementos conseqüentemente passa a ser tridimensional. Esta variável determina o impacto da abstração, generalização e o grau de homogeneidade dentro do mapa 3D;
- Tamanho: a alteração de parâmetros relativos ao objeto pode proporcionar mudanças neste próprio objeto. Exemplo: o exagero vertical, pode afetar a representação do terreno, o fazendo parecer mais plano ou acidentado;
- Cores e luminosidade: devido a evolução computacional os cartógrafos são capazes de escolher a cor e brilho de cada elemento, com uma gama de opções. Porém, ainda cabe ao cartógrafo a melhor solução, levando em consideração os princípios de projeto cartográfico;
- Textura: assim como a matiz e a luminosidade, as texturas também gozam dos advenços do avanço computacional. Texturas podem ser criadas a partir de imagens coletadas facilmente em campo, tornando-se parte do mapa 3D;

- **Orientação:** é a única variável visual levantada por Bertin e não tem tanta importância no processo de geração do modelo tridimensional. Pois, em um mapa 3D inúmeras orientações são possíveis para a visualização (determinada a partir dos parâmetros de visualização da câmera), por isso não deve ser uma variável de grande relevância;
- **Variáveis gráficas especiais:** a aparência gráfica não foi levada em consideração por Bertin, porém, muitos elementos podem ser representados com esta variável. Um exemplo, é a aplicação de transparência em objetos, para que mais de uma feição possa ser vista;
- **Animação e movimento de objetos:** nos mapas iterativos e animados, os elementos podem ser modelados alterando os atributos gráficos ou posicionais, tamanho e forma, cores ou texturas interagindo com o mapa. Sendo uma questão mais focada em programação, tendo uma atenção menor no foco cartográfico;
- **Elementos de orientação:** algumas informações do mapa 3D necessitam que seja feita por meio de informações textuais, conforme Figura 18;
 - **Rótulo e coordenadas:** a orientação das feições representadas é feita por meio de texto, nomeando as localizações dos elementos. É importante que o cartógrafo saiba quais objetos serão rotulados, para se determinar a melhor forma da inserção do sistema de coordenadas;
 - **Informações de escala:** estes dados são muito importantes para o usuário, pois é a ferramenta com a qual o usuário tem a noção de proporção com medidas reais da superfície. Podendo ser informada a partir de uma barra de escala gráfica ou ferramenta de medida.

Figura 18 – Representação da orientação textual em um mapa 3D.



Fonte: Haeberling (2002).

Já para os aspectos de visualização Haeberling (2002), elenca variáveis que necessitam ser adicionadas ao mapa 3D, a fim de o fazer mais conciso:

- Visualização de modelos em geral: o responsável por confeccionar o mapa deve definir um procedimento para que o mapa 3D possa ser representado no plano. Todos os aspectos e processos matemáticos da projeção central, projeções paralelas ou até intermediárias, devem ser consideradas;
- Estruturação do modelo: junto com a escolha das regras de projeção, o cartógrafo deve decidir o nível de detalhe do modelo 3D, este fato está inversamente relacionado a velocidade de processamentos dos dados;
- Configuração da câmera: a escolha dos parâmetros de visualização da câmera é um processo importante no processo do projeto cartográfico de um mapa 3D. O ponto de vista é dado de forma geométrica, descrito pela posição, ângulo de visada (rotação e inclinação) e campo de visão da câmera. A posição é definida a partir da coordenada planimétrica (x , y) e sua altura (z), estes valores podem ser dados em coordenadas geográficas ou em um sistema de referência específico escolhido para o modelo. O ângulo de visada (rotação e inclinação) depende da direção de visada (rotação), componente horizontal, ângulo de inclinação, componente vertical, e o campo de visão (*Field Of View* – FOV). Por fim, algumas variáveis relacionadas ao movimento da câmera devem ser

levadas em consideração, caso o mapa seja dinâmico, a velocidade de aceleração e desaceleração da câmera;

- Iluminação: a escolha da iluminação é algo que deve ser escolhido com cuidado, mesmo que seja de forma próxima a natural, luz ambiente ou luz artificial, a diferença no resultado pode ser considerável. Uma consideração relevante a se fazer é que as geometrias da câmera e luz afetam diretamente esta variável;
- Sombra: o sombreado da paisagem criado pelo relevo e simulado no mapa, dá a ele um maior realismo e naturalidade, e está diretamente ligado a geometria da luz;
- Efeitos do ambiente e atmosféricos: esta variável permite a reprodução de efeitos atmosféricos, como neblina, e do ambiente, como sombras causadas pela iluminação. Possibilitando uma percepção mais natural, próxima da realidade, em vez de uma representação abstrata (TERRIBILINI, 2001).

Após a pesquisa realizada por Haerberling (2002), o mesmo autor em outro estudo (HAEBERLING; BÄR; HURNI, 2008) trouxe as mesmas variáveis, criando inúmeras imagens de uma mesma área, alterando características das variáveis visuais, com o intuito de propor princípios para a elaboração de mapas 3D a partir de questionários e entrevistas com usuários especialistas. Ao fim foram elencadas 19 proposições de princípios para um mapa 3D, separadas em cinco temas:

- a) Princípios relativos ao grau de abstração: são elencados 8 princípios neste tema, que concentram-se no estilo e características da composição geral do mapa;
 1. A representação de áreas e linhas em um mapa 3D o torna mais familiar e fácil de interpretar. Porém, símbolos pontuais devem ser gerados com volume;
 2. Os símbolos pontuais 3D da representação melhoram a percepção em perspectiva do mapa 3D;
 3. Símbolos pontuais 3D são mais adequados para representações que utilizam imagens como textura;
 4. Os símbolos podem ser construídos a partir de formas geométricas simples, isso facilita o entendimento;
 5. Feições representadas em um mapa 3D podem ter aparência natural e realista, porém, não precisam necessariamente ser fotorrealistas;

6. Modelos estruturais, como o exemplo de hachuras, podem ser texturas úteis na representação de áreas em um mapa;
 7. Estes modelos estruturais não devem ter traços muito grossos ou muito finos (exemplo: hachuras);
 8. Padrões estruturais devem ter um bom contraste de cores com o terreno, fazendo uso de cores de fácil percepção em relação a cores comumente utilizadas para representar o terreno (marrom, verde).
- b) Princípios sobre o tamanho dos símbolos: São seis proposições feitas referente a este tema. Em geral características como tamanho dos símbolos, largura da linha ou altura de um efeito de extrusão dos elementos representados pode ser definido de acordo com a sua funcionalidade, assim como seu aspecto compositivo. Contudo, alguns quesitos essenciais devem ser seguidos.
1. A característica da topografia do terreno pode ser enfatizada através do exagero vertical;
 2. O tamanho das feições do mapa deve ser determinado de forma que possam ser identificados claramente em primeiro ou em segundo plano;
 3. O tamanho dos objetos deve ser escolhido de modo que não ocultem outras feições;
 4. O tamanho das feições lineares e pontuais, devem ser definidas a fim de não recobrir muito o terreno na visão perspectiva;
 5. Elementos pontuais podem ter seu tamanho maior do que os lineares e de área, fazendo uso do exagero geométrico para o melhor entendimento da feição;
 6. A aparência das feições pontuais não deve ser muito dominante.
- c) Princípios para aspectos de câmeras: um único princípio foi proposto para este complexo tema, relacionado ao ângulo de inclinação e direção da visualização;
1. Para a visualização do mapa 3D com perspectiva exocêntrica² é indicado um ângulo de inclinação médio da câmera de 45 graus. Esta recomendação deve ser considerada como uma aproximação, pois seu objetivo é conciliar uma visão geral do modelo e ter uma percepção perspectiva. Caso este ângulo seja 60 graus ou mais o mapa se tornará

² Visualização em perspectiva do mapa como um todo (de fora), o usuário observando a relação dos elementos.

clássico (2D). Com um ângulo de 30 graus ou menos, muitas feições serão ocultadas tanto pelo relevo quanto por outras feições. Outro fator negativo, são as distorções geométricas geradas pelo ângulo de inclinação dificultando a localização dos fenômenos representados.

d) Princípios para os aspectos de iluminação: este princípio é muito importante para a percepção do mapa, mesmo que seja possível a iluminação em diferentes direções, somente algumas orientações correspondem de forma satisfatória;

1. A direção em que a iluminação incide no mapa 3D deve ser preferencialmente lateral ou ligeiramente de frente, em relação à câmera. A iluminação é um aspecto vital para a percepção visual dos usuários, na interpretação do relevo e do volume das feições. A inexistência da iluminação pode gerar a percepção de que o modelo é plano, desconfigurando a vista em perspectiva.

e) Princípios relacionados aos efeitos atmosféricos: a inclusão de efeitos como a reprodução visual do céu, névoa e fenômenos de reflexão de luz pode ajudar a melhorar a percepção das feições e dos efeitos emocionais do mapa. Não há limites para a inserção de características atmosféricas, porém, eles não agregam a representação geométrica de maneira técnica, atuando mais de forma visual;

1. Um fundo de cor neutra, mesmo sem a reprodução visual do céu, em parte das vezes encaixa-se bem nos mapas 3D. A reprodução visual do céu tem como objetivo dar suporte à percepção do usuário ao conteúdo do mapa, por isso, para preservar o aspecto do mapa 3D esta estrutura não deve ser muito exacerbada;
2. A perspectiva de um mapa 3D pode ser percebida sem o efeito de névoa. Apesar de parecer óbvia esta afirmativa, a neblina auxilia de forma natural a percepção de profundidade do mapa 3D, pois quanto mais distante do observador, mais difusa será a visão do objeto;
3. A adição do efeito da névoa melhora a percepção de profundidade em uma visão em perspectiva. É essencial parametrizar o uso desta ferramenta de forma moderada, uma neblina muito densa pode fazer com que as feições pareçam estar mais distantes do que realmente estão. Assim como uma neblina muito sutil pode acarretar o contrário.

Contudo, apesar de todo mapa ser um modelo tridimensional da realidade dos elementos representados, nem sempre um modelo pode ser considerado um mapa (YONOV; BANDROVA, 2018). Bandrova (2020) afirma que, para que um modelo possa ser considerado ou se tornar um mapa, é necessário que todas as feições representadas tenham: geometria 3D, informações topográficas, símbolos 3D, informações qualitativas ou quantitativas, direção norte e *datum* de coordenadas, escala, generalização geométrica e semântica, acurácia, toponímia, legenda e título. Sendo que novos elementos levantados podem ser adotados nestes mapas 3D: câmera virtual, sombras, luzes e animações tornam o mapa mais iterativo, agradável e compreensível para o usuário.

2.5 RESUMO DO CAPÍTULO

O entendimento do uso de mapas 3D tem seu início na construção da linguagem cartográfica e sua simbologia, porém, antes destas etapas é importante se pensar em questões que uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) deve fornecer (padronização, racionalização e interoperabilidade de dados), para que tais dados sejam armazenados adequadamente e haja a possibilidade de transferência entre instituições sem perda de informações. Por isso, é muito relevante que linguagens de modelagem conceitual de dados sejam discutidas e revisadas periodicamente, evitando a obsolescência, da mesma forma padrões de dados devem passar pelas mesmas discussões e análises.

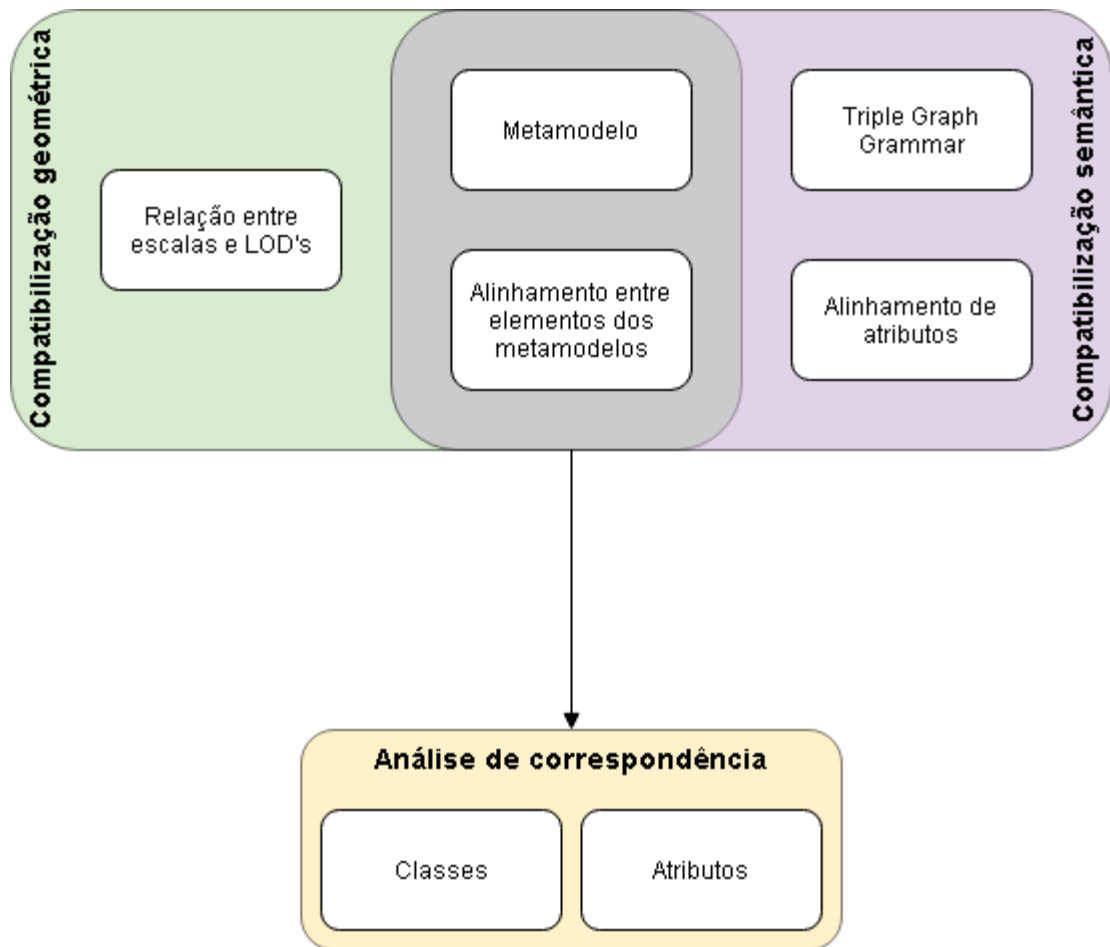
Além disso, a compatibilização entre diferentes padrões se torna muito interessante e necessária, primeiro pela aquisição de dados em diferentes formatos e padrões, e em seguida pela economia de recursos. A partir destas prerrogativas é possível fazer com que bases cartográficas, que auxiliam no planejamento e gestão das cidades, sejam alimentadas por diferentes fontes e formatos de dados. Adicionalmente, a consequência de tais ações resulta na economia de recursos, pois, áreas que teriam a necessidade de ser mapeadas visando atender um padrão ou formato de dados específicos, passam a ser dispensáveis.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento para compatibilização geométrica e semântica entre modelos de dados exige o uso de processos metodológicos adequados. Contudo, diferentes trabalhos tomam diversos caminhos para isso, não havendo consenso de quais são os passos específicos a se seguir para a compatibilização de modelos. Com isso, a compatibilização proposta entre os padrões ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, foi desenvolvida a partir das documentações e esquemas UML de ambos os modelos conceituais, de modo manual e analítico como será abordado nos tópicos a seguir. Foi utilizado como base o estudo realizado por Stouffs, Tauscher e Biljecki (2018), onde se realizou a conversão do modelo IFC (utilizado em BIM) para o modelo CityGML, que conseqüentemente necessita da compatibilização entre modelos para tal conversão a partir da técnica *Triple Graph Grammar* (TGG). Outro trabalho base para o desenvolvimento da metodologia, especificamente no alinhamento conceitual dos padrões, é o realizado por Machado (2021), que estabelece a compatibilização dos modelos de dados *OpenStreetMap* (OSM) e ET-EDGV 3.0 a partir do levantamento de ontologias. Além disso, foram utilizadas as categorias de informação Edificações, Área Verde/Vegetação e Estrutura de Mobilidade Urbana, com a finalidade de adotar os principais elementos presentes em uma cidade.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho está dividida em etapas, que são compostas de diferentes fases. Logo, na primeira etapa estarão os processos pertencentes a compatibilização geométrica, na segunda etapa processos da compatibilização semântica e na terceira etapa processos da análise de correspondência entre os modelos ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0. A Figura 19 apresenta as etapas e processos utilizados na metodologia.

Figura 19 - Etapas e processos da metodologia.



Fonte: O Autor (2021).

A compatibilização geométrica e semântica compartilha processos entre si, pelo fato do metamodelo carregar características semânticas dos modelos. As etapas e processos metodológicos serão desenvolvidos e explicados nas seções a seguir.

3.1 COMPATIBILIZAÇÃO DOS TIPOS DE GEOMETRIA

A compatibilização geométrica compartilha alguns processos com a compatibilização semântica, como o metamodelo e o alinhamento entre elementos dos metamodelos. Além disso, o processo estritamente desta etapa é o estabelecimento da relação entre escalas e LOD's. Com isso, nas próximas subseções serão apresentados os processos desta etapa metodológica.

3.1.1 Metamodelo

O primeiro passo para a compatibilização geométrica e semântica, uma vez que este processo é compartilhado com ambas as etapas, é o estabelecimento de um metamodelo a partir da análise da estrutura de ambos os modelos conceituais. Segundo Guedes (2012), um metamodelo tem como intuito definir a semântica para modelar elementos dentro de um modelo, desta forma um metamodelo é a simplificação do modelo conceitual. Assim como o modelo conceitual tem finalidade de abstrair o mundo real, o metamodelo objetiva a abstração do modelo conceitual. Para a constituição dos metamodelos, é necessário analisar a estrutura dos modelos conceituais, para então consequentemente possibilitar a compatibilização semântica. Por se tratar de modelos conceituais de dados espaciais, a geometria está intrínseca a semântica, este motivo possibilita a exposição e compatibilização geométrica entre os modelos.

Portanto, para a realização dos metamodelos é essencial ter conhecimento das características básicas de cada modelo conceitual. Estas características serão retiradas através da leitura e análise da documentação do padrão ET-EDGV 3.0, na qual está a descrição conceitual e seus esquemas conceituais do modelo, permitindo a conjectura do metamodelo. Um exemplo de característica importante do padrão é a separação das escalas:

Quadro 3 - Nível de escala.

	Escalas
Mapeamento Sistemático em Grandes Escalas	1:1.000
	1:10.000
Mapeamento Sistemático em Pequenas Escalas	1:25.000
	1:50.000
	1:100.000
	1:250.000

Fonte: Adaptado de CONCAR (2017).

O Quadro 3 apresenta a relação das escalas, sua separação em pequenas e grandes escalas do mapeamento sistemático. Esta característica é importante, pois através dela as categorias de informação são divididas em Mapeamento Topográfico em Pequena Escala (MapTopoPE) e Mapeamento Topográfico em Grande Escala

(MapTopoGE). Seguindo a análise documental do padrão ET-EDGV 3.0 os pontos principais são:

- Nível de escala;
- Categoria;
- Classe;
 - Descrição;
 - Código;
 - Geometria;
 - Geo-objetos;
 - Genérica/Complexa;
 - Ponto;
 - Linha;
 - Poligono;
 - Geo-campos;
 - Isolinha;
 - Amostragem;
 - Sem geometria;
- Atributo;
 - Tipo;
 - Alfanumérico;
 - Booleano;
 - Real;
 - Inteiro;
 - Auxiliar;
 - Lista domínio;
 - Descrição;
 - Descrição;
 - Domínio;
 - Requisito.

Assim como para o padrão ET-EDGV 3.0, a documentação do padrão internacional CityGML 2.0 foi analisada e lida para o levantamento das características principais do modelo e conseqüentemente a construção do metamodelo. Uma das características é o *Level Of Detail* (LOD) ou nível de detalhe.

Quadro 4 - Nível de detalhe.

Geometric / semantic theme	Property type	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Building footprint and roof edge	<i>gml:MultiSurfaceType</i>	•				
Volume part of the building shell	<i>gml:SolidType</i>		•	•	•	•
Surface part of the building shell	<i>gml:MultiSurfaceType</i>		•	•	•	•
Terrain intersection curve	<i>gml:MultiCurveType</i>		•	•	•	•
Curve part of the building shell	<i>gml:MultiCurveType</i>			•	•	•
Building parts	<i>BuildingPartType</i>		•	•	•	•
Boundary surfaces (chapter 10.3.3)	<i>AbstractBoundarySurfaceType</i>			•	•	•
Outer building installations (chapter 10.3.2)	<i>BuildingInstallationType</i>			•	•	•
Openings (chapter 10.3.4)	<i>AbstractOpeningType</i>				•	•
Rooms (chapter 10.3.5)	<i>RoomType</i>					•
Interior building installations (chapter 10.3.5)	<i>IntBuildingInstallationType</i>					•

Fonte: OGC (2012).

No Quadro 4 é possível verificar elementos mapeados no padrão CityGML 2.0, do módulo temático *Building*, em relação ao nível de detalhe nos quais passam a ser considerados na representação. Esta característica é primordial, pois como o quadro mostra algumas feições não são representadas em certos níveis de detalhe, este fato é vigente para todo padrão. Com isso, para o padrão internacional CityGML 2.0 as particularidades marcantes, são:

- Nível de detalhe;
- Módulo temático;
 - Classe;
 - Atributo;
 - Lista de código;
 - Relacionamento;
 - Descrição;
 - Descrição;
 - Aplicação XML;
 - GML3;
 - Geometria;
 - Ponto;

- Curva;
- Superfície;
- Sólido;
- Agregação;
 - Multiponto;
 - Multicurva;
 - Multisuperfície;
 - Multisólido.

Esta etapa possibilitou o desenvolvimento de gráficos que representam a abstração dos modelos conceituais da ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, apresentadas na seção 4.1.1, e utilizadas para o alinhamento conceitual e semântico entre os modelos conceituais na seção 3.1.2.

3.1.2 Alinhamento entre elementos dos metamodelos

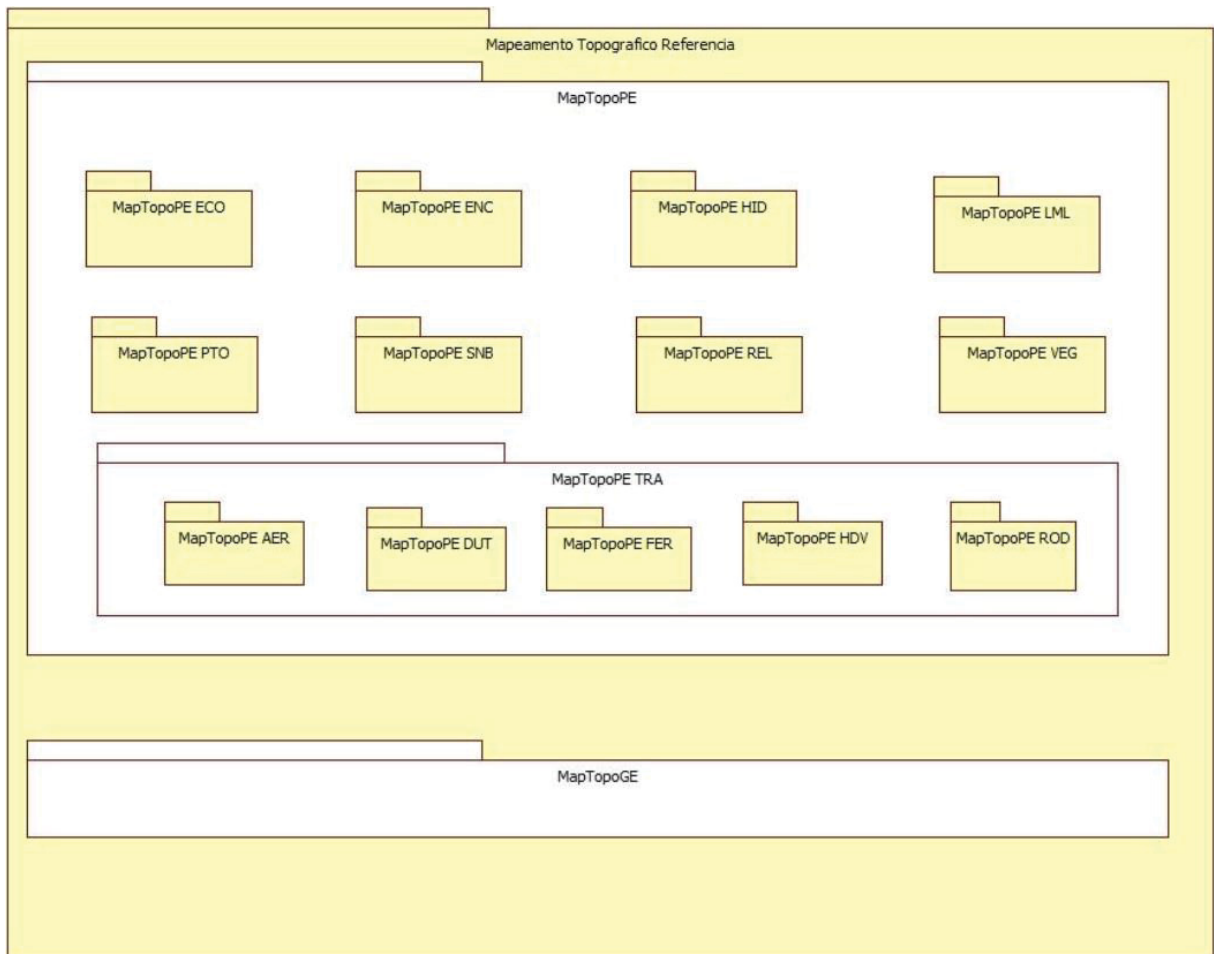
O alinhamento entre os metamodelos é essencial para que se possa verificar a correlação das características mais acentuadas entre os modelos conceituais de dados da ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0. Apesar de serem distintos, definições das características de cada modelo elencadas na seção 3.1.1 podem ter ligação. Por este motivo, são buscadas as definições e funções das características na documentação de cada padrão, procurando correlações as características da ET-EDGV 3.0 e CityGML2.0. Um exemplo deste processo, é a definição e função das categorias de informação da ET-EDGV 3.0, e os módulos temáticos do CityGML 2.0.

Como definição da categoria de informação da ET-EDGV 3.0 (CONCAR, 2017):

“As categorias de informação são visualizadas como “pacotes”, conforme as figuras a seguir: ”

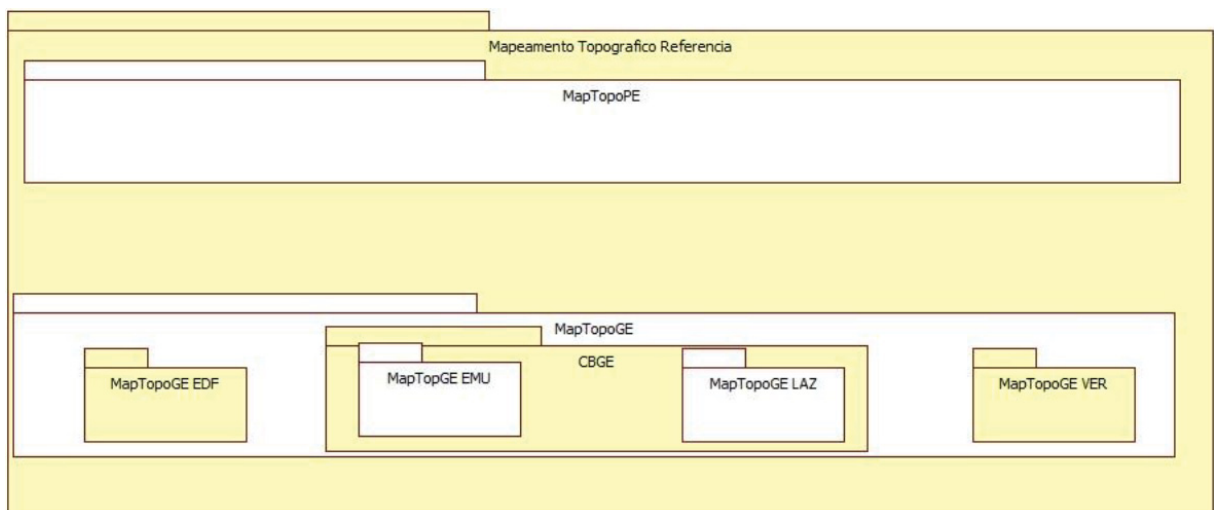
A definição se refere as Figura 20 e Figura 21:

Figura 20 - Pacotes do mapeamento sistemático em pequenas escalas.



Fonte: CONCAR (2017).

Figura 21 - Pacotes do mapeamento sistemático em grandes escalas.



Fonte: CONCAR (2017).

Portanto, entende-se que as categorias de informações são “pacotes” ou agrupamento de informações que tenham características em comum, como por exemplo prédios, casas e galpões tem a mesma particularidade de serem edificações, e a partir destas particularidades as feições são divididas em grupos ou “pacotes”. Em paralelo, fazendo uma tradução livre da definição para os módulos temáticos do CityGML 2.0 (OGC, 2012):

“O modelo temático do CityGML consiste nas definições de classe para os tipos mais importantes de objetos dentro dos modelos de cidades virtuais 3D. Estas classes foram identificadas para serem necessárias ou importantes em muitas áreas de aplicação diferentes.”

Analisando a definição e a função dos módulos temáticos no padrão CityGML 2.0, é possível concluir que são agrupamento de objetos importantes dentro de uma cidade, separando estas informações relevantes dentro dos treze módulos temáticos, apresentados na seção 2.3. A partir de ambas as definições e funções destas duas características, é plausível afirmar que ambas as características têm funções muito próximas dentro de seus padrões. Com isso, faz-se exequível a correlação de ambas as características no alinhamento entre elementos dos metamodelos.

Esta metodologia de alinhamento entre elementos dos metamodelos, a partir das definições, características e suas funções dentro dos padrões seguiu a mesma análise para todas as particularidades, porém, vale a ressalva de que nem todas as características terão equivalência. A partir desta etapa foi possível gerar uma ilustração de alinhamento dos elementos principais de cada modelo, tanto da parte semântica quanto geométrica, dispostos na seção 4.1.2.

3.1.3 Relação entre escalas e LOD's

A relação entre escalas do mapeamento sistemático e os LOD's (nível de detalhe) também utilizará a documentação dos padrões. Para a ET-EDGV 3.0, além disso, é necessário consultar a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV 3.0). Conforme CONCAR (2018), o objetivo da ET-ADGV 3.0 é fornecer uma forma padronizada para a construção do atributo geometria de cada classe de objetos da ET-EDGV 3.0. A ET-ADGV 3.0 é muito relevante neste caso, pois a mesma apresenta em quais escalas e elementos mínimos as classes de

objetos são mapeáveis. Esta relação foi realizada com o intuito de se ter a noção, para cada classe trabalhada, em qual LOD as feições poderiam se encaixar e se as mesmas existiriam na representação, conforme pré-requisitos para cada LOD do CityGML 2.0. Além disso, todas as escalas foram colocadas em comparação, apesar das representações tridimensionais terem um maior sentido em grandes escalas, visto o que é possível também o desenvolvimento de estudos de soluções de representações destas feições.

Quadro 5 - Aquisição de objetos segundo a escala.

Código	Classe	Escala	A	L	P
			$s \geq$ (mm ²)	$D \geq$ (mm)	
1.1.1	Aerogerador	1-50	-	-	X
1.1.2	Antena_Comunic	1-25	-	-	X
1.1.3	Casa_De_Forca	1-25	-	-	X
1.1.4	Central_Geradora_Eolica	1-25	12,5	-	X
1.1.7	Est_Gerad_Energia_Eletrica	todas	1	-	X
1.1.8	Grupo_Transformadores	todas	1	-	X
1.1.9	Hidreletrica	todas	1	1	X
1.1.11	Termeletrica	todas	1	-	X
1.1.12	Torre_Comunic	1-100	-	-	X
1.1.13	Torre_Energia	1-25	-	-	X
1.1.14	Trecho_Comunic	1-100	-	50	-
1.1.15	Trecho_Energia	todas	-	50	-
1.1.16	Zona_Linhas_Energia_Comunicacao	1-25	ND	-	-
1.2.1	Equip_Agropec	1-10	1	1	X
1.2.2	Ext_Mineral	todas	25	-	X
1.2.3	Plataforma	1-100	4	-	X
1.3.1	Area_Umida	todas	25	-	-

Fonte: CONCAR (2018).

A Quadro 5 mostra um exemplo de como as informações são apresentadas para a aquisição dos objetos, onde (CONCAR, 2018):

“**Código:** código da classe segundo ET-EDGV 3.0;

Classe: nome da classe conforme ET-EDGV 3.0;

Escalas: escalas previstas para aquisição da classe, o valor refere-se ao milhar do denominador da escala;

Geometrias (A, L e P): possíveis opções de primitivas gráficas para aquisição do objeto, segundo sua dimensão. Os tamanhos são em mm e mm² na escala prevista. Subcolunas:

A: caso exista a representação de área, essa coluna descreve os tamanhos possíveis para aquisição em área (polígono), com “s” sendo a área medida do objeto em mm² na escala do produto. Em alguns casos aparece a letra “d”, que representa o menor comprimento do objeto (largura). Se o tamanho for compatível, o objeto é adquirido como área, se não, passa à próxima primitiva (linha ou ponto);

L: caso exista a representação linha, essa coluna descreve o tamanho³ mínimo do objeto para aquisição como linha (lira “D”). Se o tamanho for compatível, o objeto é adquirido como linha, se não, passa a próxima primitiva possível (ponto);

P: caso exista a representação ponto, a coluna indica um “X”.

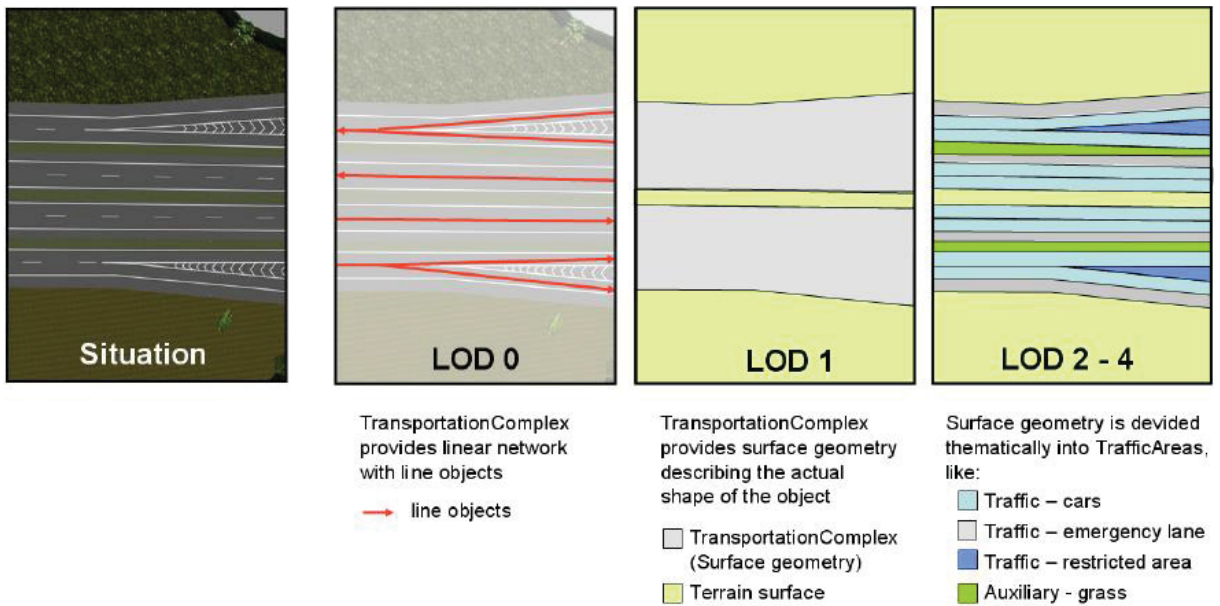
O valor “ND” significa não definido. “

Então, é feita uma nova tabela com as classes de objetos que envolvem as categorias de informação Edificações, Vegetação/Área Verde e Estrutura de Mobilidade Urbana.

Ao contrário do padrão ET-EDGV 3.0, o CityGML 2.0 não dispõe de uma tabela com as mesmas características, listando os elementos em quais níveis de detalhe aparecem ou qual o elemento mínimo que pode ser representado para cada classe. Desta forma, é necessário construir uma tabela semelhante elencando as classes trabalhadas. Esta tabela foi construída a partir da documentação do padrão CityGML 2.0 onde são detalhados os módulos temáticos e aborda as feições e os seus níveis de detalhe de formas diferentes.

³ A norma se refere a tamanho no sentido de comprimento da linha.

Figura 22 - Complexo de transporte no nível de detalhe 0, 1, 2-4.



Fonte: OGC (2012).

A Figura 22 mostra uma situação para representação de um trecho com vias de transporte viário de acordo com o CityGML 2.0, em seguida temos os quadros com LOD 0 mostrando que a representação das vias neste nível é feita basicamente através de linhas, LOD 1 que passa a ser representada por superfícies, e LOD 2 - 4 tendo a segmentação da via em diferentes partes. Com este dado, são elencadas as feições do módulo temático objetos de transporte, para a confecção de uma tabela semelhante a Quadro 5. Adotou-se esta metodologia também para os módulos temáticos acerca de edificações e vegetação.

Contudo, ainda é necessário se ter conhecimento do elemento mínimo representado em cada classe. Então, realizando uma minuciosa leitura da documentação do padrão CityGML 2.0, em uma tradução livre temos (OGC, 2012):

“...No LOD1, a acurácia posicional e de altura dos pontos deve ser de 5m ou menos, enquanto todos os objetos com uma dimensão de pelo menos 6m por 6m devem ser considerados. A acurácia posicional e de altura do LOD2 é proposta para ser de 2m ou melhor. Neste LOD, todos os objetos com uma dimensão de pelo menos 4m × 4m devem ser considerados. Ambos os tipos de acurácia no LOD3 devem ser de 0,5m, e sugere-se que a dimensão mínima seja de 2m × 2m. Finalmente, a acurácia posicional e de altura do LOD4 deve ser de 0,2m ou menos.... ”

A partir do mostrado, podemos extrair que para o LOD 1 o elemento mínimo que pode ser representado é de 6 metros por 6 metros, LOD 2 é de 4 metros por 4

metros e LOD 3 – 4 é de 2 metros por 2 metros. De forma generalizada estes valores serão adotados para todas as feições, por não haver um detalhamento melhor em relação a isso em sua documentação. Portanto, os elementos mínimos para área e linha são os apontados no Quadro 6.

Quadro 6 - Elementos mínimos representáveis no CityGML.

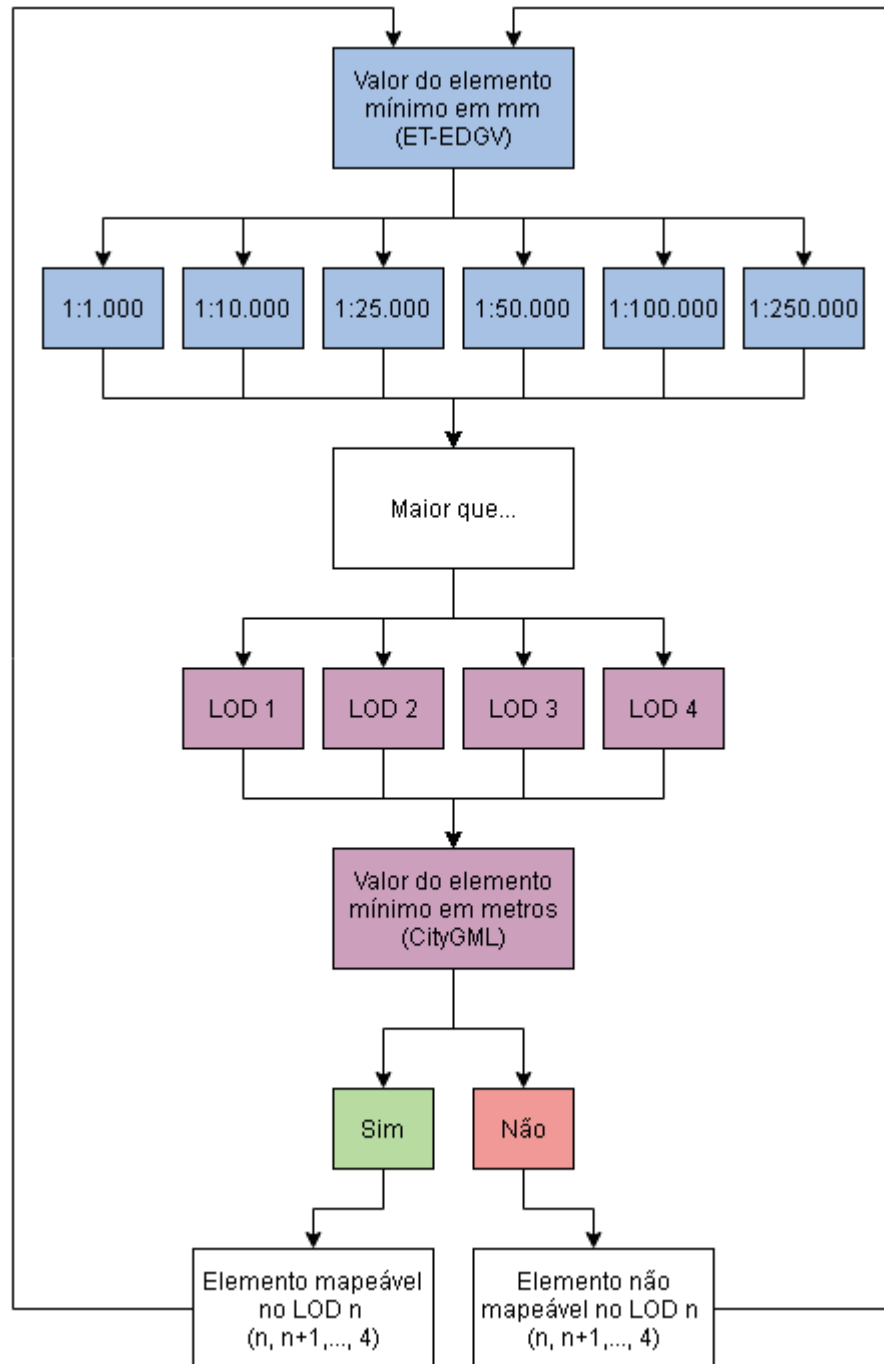
	Área (m ²)	Linha (m)
LOD 1	36	6
LOD 2	16	4
LOD 3	4	2
LOD 4	4	2

Fonte: Adaptado de OGC (2012).

Tendo conhecimento dos pontos principais envolvendo as escalas e os elementos da ET-EDGV 3.0, e de mesma forma o nível de detalhe e os elementos do CityGML 2.0. Então, no primeiro momento os valores presentes na coluna “A” e “L” da Quadro 5 foram colocados nas escalas, conseqüentemente tendo-se a dimensão em metros quadrados para “A”, e metro para “L”, que os elementos devem ter no mínimo para representá-los. Em seguida, tais valores foram comparados de forma manual com os mínimos considerados para o CityGML 2.0 e verificados se são representáveis.

De acordo com a Figura 23, o processo de relação das escalas do mapeamento sistemático e o LOD (nível de detalhe) do CityGML 2.0, inicia com o valor do elemento mínimo de uma classe sendo passado para a escala. Em seguida verifica-se este valor é maior que o considerado no CityGML 2.0 para o LOD a ser comparado. Se sim, a classe da ET-EDGV 3.0 é representável no LOD do CityGML 2.0, se não, esta classe não será representável no LOD considerado. Este processo se repete para todas as classes, escalas e LOD's, até que se tenha uma tabela com os LOD's considerados para cada classe, em relação aos elementos mínimos representáveis.

Figura 23 - Mapa mental da avaliação de relação Escala/LOD.



Fonte: O Autor (2021).

Para suscitar melhor o processo descrito, como exemplo, o Quadro 5 traz a classe “Central_Geradora_Eolica”. Na coluna “A” o valor mínimo representável é igual a 12,5 mm². Portanto, seguindo os passos descritos e convertendo o valor para as escalas do mapeamento sistemático:

$$\begin{array}{rcl}
 1\text{cm}^2 & - & 1.000\text{m}^2 \\
 0,125\text{cm}^2 & - & x
 \end{array}$$

$$1\text{cm}^2 \cdot x = 125\text{m}^2 \cdot \text{cm}^2$$

$$x = \frac{125\text{m}^2 \cdot \text{cm}^2}{1\text{cm}^2}$$

$$x = 125\text{m}^2$$

Este valor é comparado com o considerado para área mínima no LOD 1, igual a 36 m²: se maior a classe será representável no CityGML 2.0, para este caso sim. Com isso, reinicia-se as etapas comparando o valor da escala 1:1.000 com a área considerada para o LOD 2, assim por diante até o LOD 4, então muda-se de escala e faz-se a comparação para todos LOD's. A partir deste processo constrói-se outra tabela elencando os LOD's considerados para cada classe da ET-EDGV 3.0, em relação aos elementos mínimos representáveis.

Ao final, são comparadas duas tabelas que foram montadas neste processo: em uma temos em quais LOD's as classes do CityGML 2.0 começam a ser representadas, segundo o padrão, e outra com os LOD's considerados para as classes da ET-EDGV 3.0, segundo a comparação dos elementos mínimos representáveis. Realiza-se um cruzamento entre tabelas, verificando em quais LOD's as classes CityGML 2.0 compatíveis às da ET-EDGV 3.0 começam a ser representáveis com os LOD's considerados a partir dos elementos mínimos. Caso não haja correlação o LOD considerado para a classe será ajustado, gerando uma nova tabela final.

O processo aqui apresentado resultou na confecção de três tabelas envolvendo escala e LOD, as quais são apresentadas na seção 4.1.3. A primeira traz as classes ET-EDGV 3.0 utilizadas, as escalas do mapeamento sistemático nas quais as classes são representáveis, as classes CityGML 2.0 compatíveis às ET-EDGV 3.0 e LOD's que as classes compatíveis são representáveis. A segunda aborda as classes ET-EDGV 3.0 escolhidas, as dimensões mínimas consideradas para representação de cada classe, tamanho em escala real das dimensões mínimas consideradas para representação nas escalas do mapeamento sistemático e LOD's considerados para cada classe conforme os elementos mínimos. A terceira, trata-se de um cruzamento de informações da primeira e segunda tabela, estando todas as tabelas citadas na seção 4.1.3.

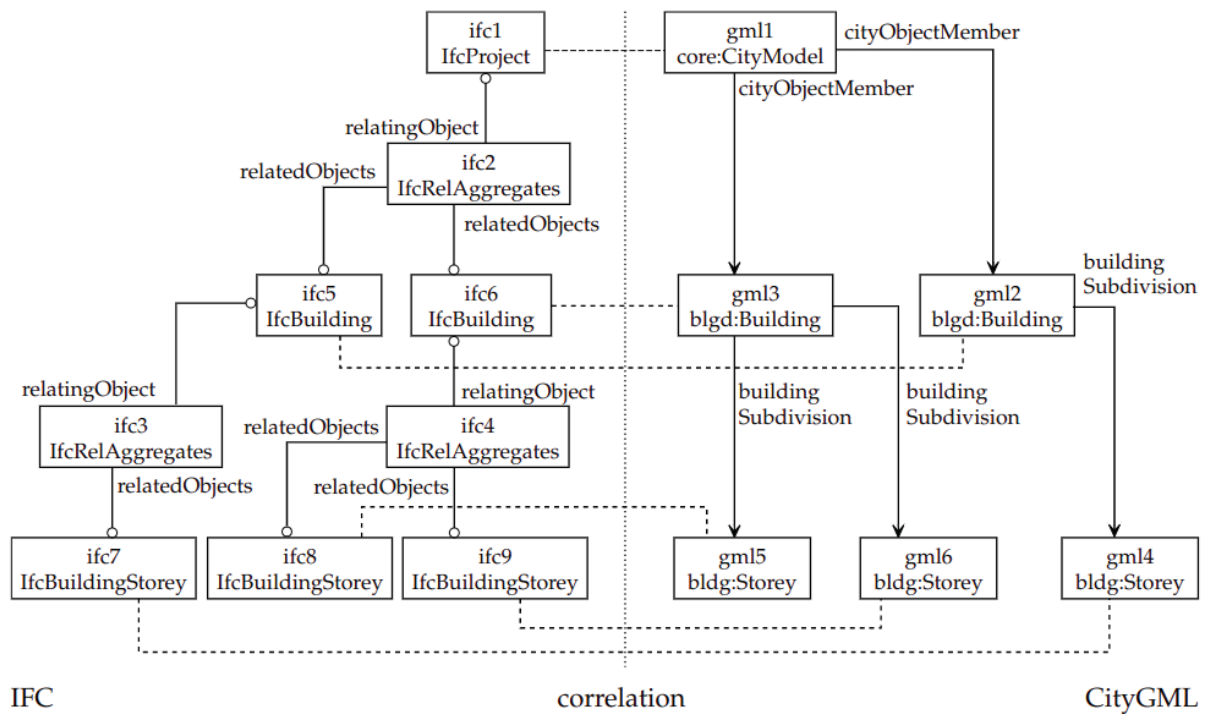
3.2 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA

A compatibilização semântica tem dois processos exclusivos e compartilha outros dois com a etapa de compatibilização geométrica. Os processos específicos desta etapa são: *Triple Graph Grammar*; e Alinhamento de atributos. Assim, nas seguintes subseções serão detalhados os processos.

3.2.1 *Triple Graph Grammar*

O primeiro processo da segunda etapa de compatibilização dos padrões ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, faz uso da metodologia *Triple Graph Grammar* (TGG) muito comum na Ciência da Computação. Segundo Stouffs, Tauscher e Biljecki (2018), a primeira introdução do TGG foi realizado por Schürr (1995) como uma formalidade para especificar correlações entre estruturas de dados semelhantes a gráficos e para integrar e transformar essas estruturas potencialmente diferentes com base em suas correlações.

Figura 24 - Gráfico Triplo que inclui um gráfico IFC, um gráfico do CityGML e um de correlação entre os modelos.

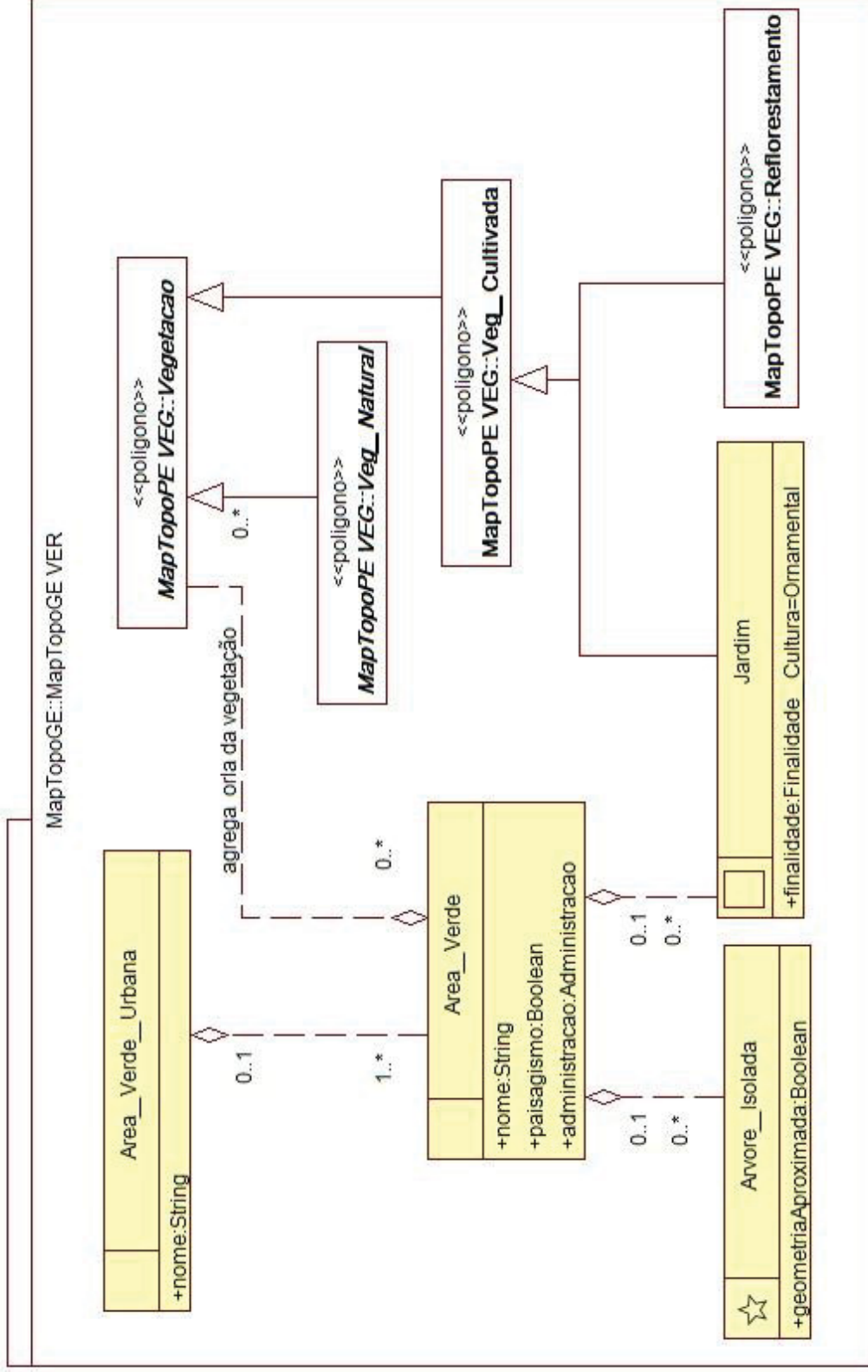


Fonte: Stouffs, Tauscher e Biljecki (2018).

A Figura 24 apresenta a correlação feita por Stouffs, Tauscher e Biljecki (2018) para o modelo do IFC e do CityGML, a partir da técnica TGG. Com base na figura apresentada, tem-se três gráficos na ilustração, o primeiro gráfico à esquerda representando o modelo IFC por meio de retângulos nomeados que se relacionam por linhas contínuas, o segundo gráfico a direita representa o modelo CityGML por meio de retângulos nomeados que se relacionam por linhas contínuas também, e o terceiro gráfico representado pela linha contínua central dividindo os modelos e por linhas tracejadas que ligam os retângulos IFC e CityGML expondo a correlação entre eles.

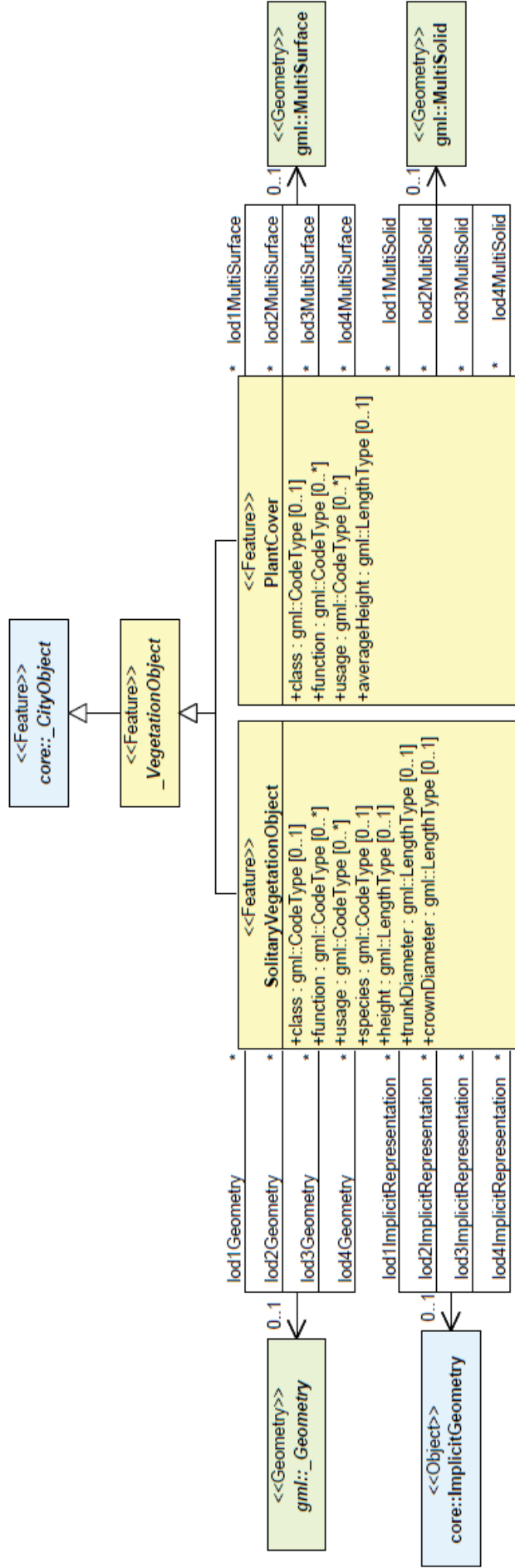
Sabendo disso, foram utilizados os esquemas conceituais de ambos os padrões, disponíveis em suas documentações, para então realizar o alinhamento conceitual das classes ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0 por meio da metodologia TGG. Para tanto, os esquemas conceituais das classes consideradas na presente pesquisa (edificações, vegetação e transporte) de ambos os padrões são colocados lado a lado para alinhamento através da descrição de cada classe contida na documentação.

Figura 25 - Esquema conceitual da categoria de informação Área Verde (MapTopoGE).



Fonte: CONCAR (2017).

Figura 26 - Esquema conceitual do modelo temático *vegetation*.



Fonte: OGC (2012).

As Figura 25 e Figura 26 apresentam os esquemas conceituais relacionados a vegetação da ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, respectivamente. A verificação da correlação das classes de ambos os padrões foi realizada a partir da análise de suas descrições. Por exemplo, no esquema conceitual para Área Verde observa-se a classe “Arvore_Isolada”, que é descrita como (CONCAR, 2017):

“Árvore isolada, no contexto desta especificação, é aquela que ocorre em espaços públicos (incluindo os trechos de arruamento), cuja responsabilidade pela administração cabe ao poder público. Em situações especiais representa também as árvores isoladas localizadas em áreas rurais sem presença de outras vegetações de grande porte, se apresentando assim, como ponto de referência para região. “

Já no esquema conceitual para *Vegetation* observa-se a classe “*SolitaryVegetationObject*”, que tem como descrição em uma tradução livre (OGC, 2012):

“...Os objetos de vegetação isolada são modelados pela classe *SolitaryVegetationObject*, enquanto que para áreas preenchidas com uma vegetação específica é utilizada a classe *PlantCover*....”

A partir das descrições apresentadas verifica-se que as classes “Arvore_Isolada” e “*SolitaryVegetationObject*” tem a mesma função e correlação em suas descrições, além disso, mesmo que a geometria do esquema conceitual do CityGML 2.0 não esteja intrínseca a ele, como na ET-EDGV 3.0, sabemos que ambas as classes são representadas com a primitiva gráfica ponto. Neste momento, no gráfico montado com os esquemas conceituais lado a lado, é traçada uma linha pontilhada ligando as classes, expondo visualmente a correlação delas. A metodologia descrita teve seguimento para as demais classes dos esquemas conceituais de edificações, vegetação e transporte, gerando ao fim ilustrações com os relacionamentos dos esquemas conceituais na seção 4.2.1.

3.2.2 Alinhamento de atributos

O alinhamento de atributos é o último processo para compatibilização semântica, conforme a metodologia proposta, onde será verificado os atributos da ET-EDGV 3.0 correspondentes aos atributos presentes no CityGML 2.0. Tal processo foi realizado analisando as descrições de atributos e comparando-as para encontrar

semelhanças entre si, de forma manual e analítica. Tomando o exemplo dado na seção 3.2.1, da classe “Arvore_Isolada” na ET-EDGV 3.0, seu atributo é somente “geometriaAproximada” e descrição (CONCAR, 2017):

“Indica que a geometria adquirida⁴ é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico. ”

Verificando em sua classe compatível (*SolitaryVegetationObject*) no CityGML 2.0, seus atributos são (OGC, 2012):

- class (classe);
- function (função);
- usage (uso);
- species (espécies);
- height (altura);
- trunkDiameter (diâmetro do tronco);
- crownDiameter (diâmetro da copa).

Analisando os atributos elencados pode-se perceber que não há qualquer correspondência do atributo descrito na ET-EDGV 3.0 com os atributos do CityGML 2.0 listados. Com isso, conclui-se que para este atributo não há compatibilidade. Para armazenar e expor estas análises foi construída uma tabela para cada classe compatível entre os padrões, e listados os atributos de cada uma delas, verificando a existência de correspondência entre atributos.

3.3 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA

A análise de correspondência na compatibilização trata-se da avaliação de elementos que possivelmente não terão compatibilidade de aspectos do padrão ET-EDGV 3.0 ao CityGML 2.0 e vice-versa, é uma parte metodológica onde se analisou os resultados de cada etapa e processo, pontuando as não correspondências de informação. Os processos para a análise de correspondência foram divididos em dois: Classes, para detectar classes sem correspondência em os ambos os padrões; e

⁴ Se refere à coordenada.

Atributos, a fim de encontrar atributos não contemplados de correlação entre os padrões.

3.3.1 Classes

A análise de correspondência na compatibilização das classes, feita a partir dos resultados alcançados na seção 3.2.1 e apresentados na seção 4.2.1, parte do princípio de destacar as classes não contempladas na compatibilização da ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0 por meio da técnica TGG, ao não haver correlação com nenhuma outra classe ao padrão comparado. Cabe a esta etapa também verificar a questão geométrica, visto que o modelo OMT-G tem a geometria vinculada intrinsecamente a cada classe. Para isso foram analisados os resultados obtidos na seção 3.1.2 e resultados apresentados na seção 4.1.2. Porém, a questão de falhas relacionadas a geometria deve abordar o modelo OMT-G, que define as geometrias utilizadas no padrão ET-EDGV 3.0, e a ISO 19107, que é a base para as geometrias 3D no CityGML 2.0, terão que ser incorporadas mais nas discussões.

Este processo da metodologia permitiu consequentemente discussões sobre os aspectos necessários para a adoção de um padrão de dados geoespaciais vetoriais que atendam as primordialidades nacionais, mas que possibilite representações mais próximas da realidade a partir de geometrias tridimensionais. Além disso, trouxe discussões sobre possíveis soluções para suprir as não correspondências encontradas. Com isso, para a análise de correspondência nas classes foi possível elaborar um gráfico expondo as classes não compatíveis de ambos os padrões, além das discussões em torno da geometria e possíveis soluções para as falhas encontradas.

3.3.2 Atributos

Assim como na análise de correspondência para as classes, o processo de análise nos atributos fara uso de resultados da metodologia descrita até aqui, de forma mais específica os resultados gerados na seção 3.2.2 e apresentadas na seção 4.2.2. Para o destacamento e mapeamento das falhas de correspondência entre os atributos, uma tabela listando-os foi feita para notabilizar-se dos demais, apresentando os atributos sem correlação com qualquer outro do padrão comparado.

A partir deste produto, discussões serão realizadas sobre a falta de correspondência encontradas, “buracos” de informação e possíveis soluções. Os produtos, resultados e discussões estão dispostos na seção 4.3.2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados de cada etapa descrita na metodologia e discussões. No entanto, é necessário ter o conhecimento de que apesar da possibilidade de compatibilização dos modelos, a mesma nunca será perfeita e total, conforme Stouffs, Tauscher e Biljecki (2018) citam em seu trabalho. Isso se dá principalmente pelo fato de os modelos deterem suas próprias características, serem desenvolvidos em épocas distintas e possuírem seus próprios propósitos. Contudo, este processo é muito importante para que dados de diferentes modelos, padrões e extensões tenham a possibilidade de tornarem-se interoperáveis, sendo possível alimentar bases cartográficas com as fontes de dados mais diversas.

4.1 COMPATIBILIZAÇÃO DOS TIPOS DE GEOMETRIA

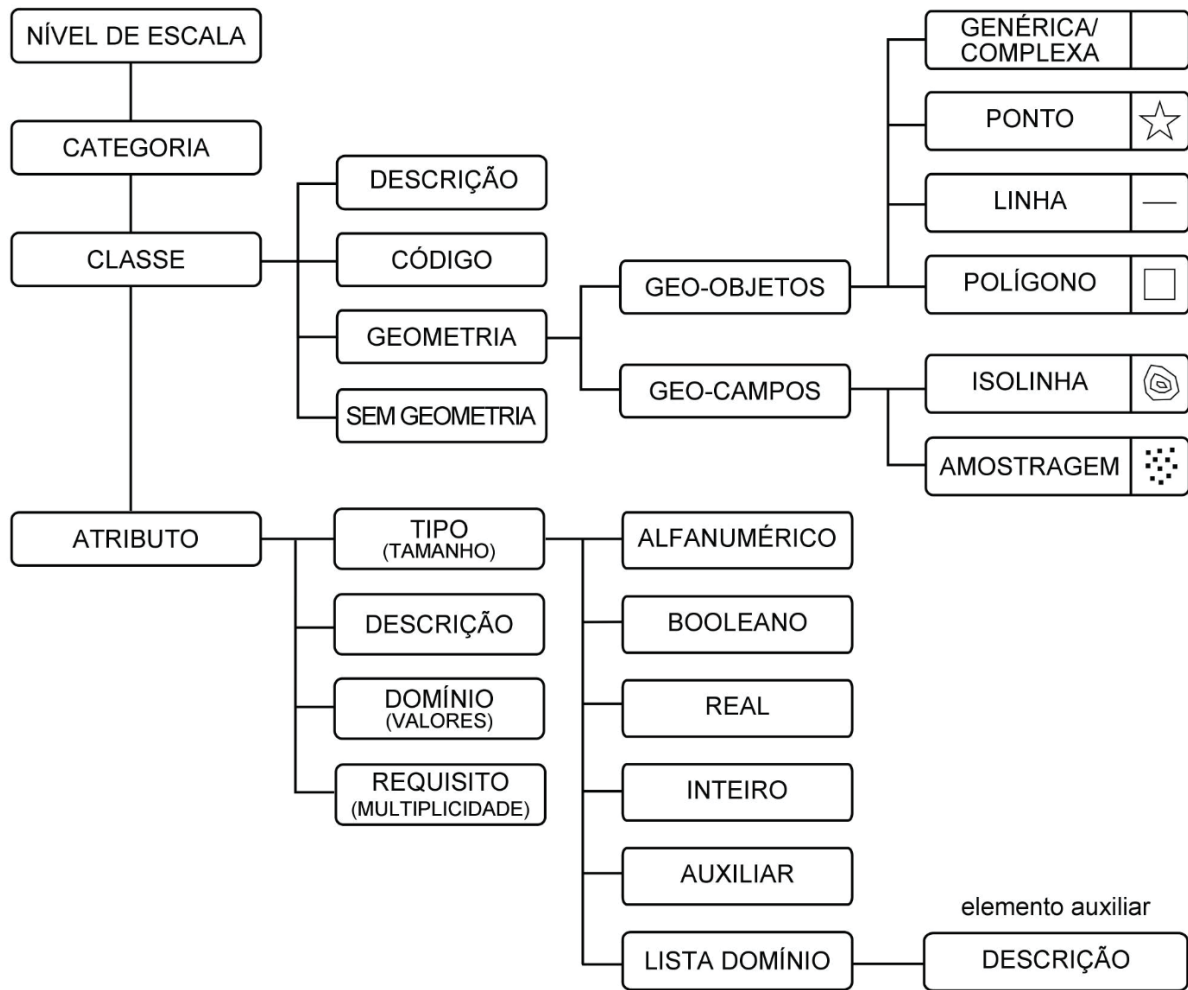
Os resultados da primeira etapa da metodologia adotada são divididos em três partes: Metamodelo; Alinhamento entre elementos dos metamodelos; e Relação entre escalas e LOD's. A compatibilização dos tipos de geometria compartilha dois processos com a compatibilização semântica, conforme Figura 19 apresentada, por haver aspectos geométricos e semânticos nos metamodelos. Outro fato para isso ocorrer é a geometria estar implícita ao modelo conceitual da ET-EDGV 3.0, já que a mesma é baseada no modelo OMT-G e as geometrias são intrínsecas as classes espaciais.

4.1.1 Metamodelo

Conforme a metodologia descrita na seção 3.1.1, os metamodelos foram realizados a partir das principais características de cada modelo conceitual, com o intuito de posteriormente realizar o alinhamento conceitual, semântico e geométrico de ambos. A partir disso, foram produzidas ilustrações cujo objetivo foi compor diagramas dos modelos conceituais, seus conceitos e relações, bem como do alinhamento semântico entre eles, e analisar os resultados do processo de integração. As ilustrações citadas estão presentes nas Figura 27 e Figura 28, o metamodelo adotado para a ET-EDGV 3.0 foi realizado por Machado (2021), visto que a autora realizou a compatibilização semântica entre a ET-EDGV 3.0 e OSM.

Figura 27 - Metamodelo da ET-EDGV 3.0.

METAMODELO DA ET-EDGV 3.0
 RELAÇÃO DE CLASSES E OBJETOS (RCO)
 Unified Modeling Language (UML)



Fonte: Machado (2021) (<http://dx.doi.org/10.5380/bdc/49>).

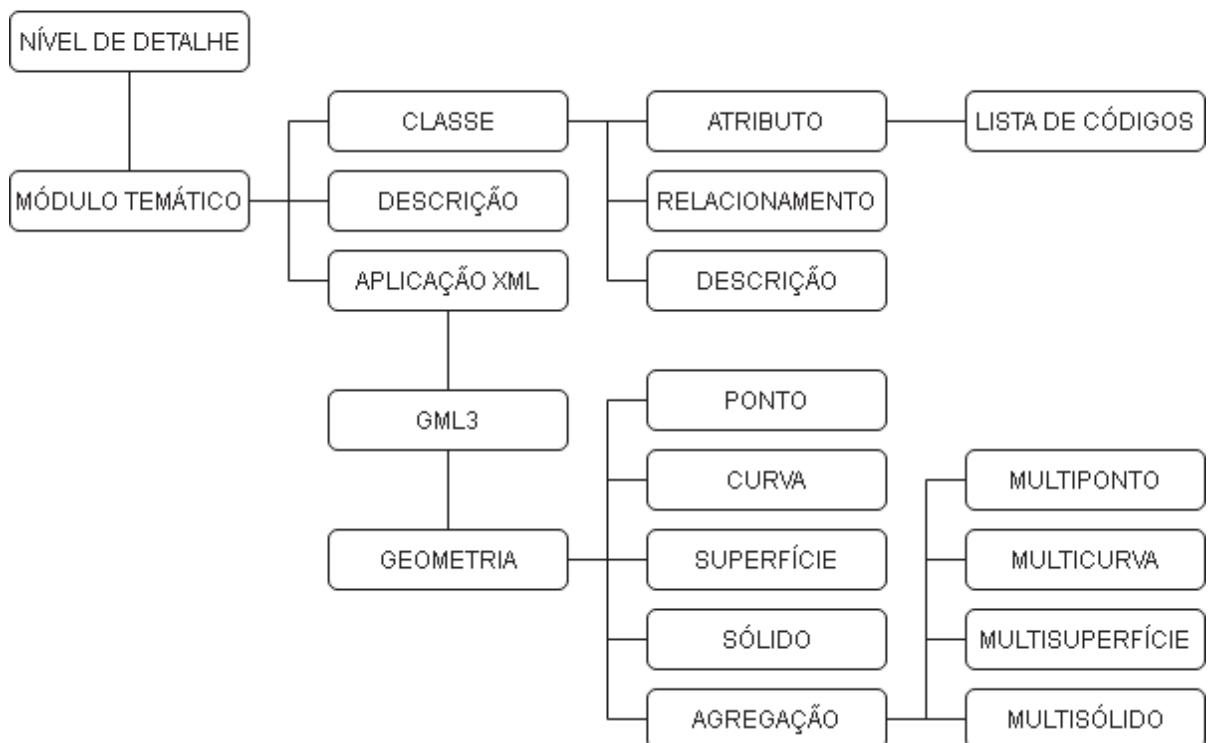
Na Figura 27, conforme Machado (2021), tem-se o “nível de escala” que divide o mapeamento oficial em pequenas escalas (MapTopoPE) e grandes escalas (MapTopoGE), porém, que essa divisão não deveria acontecer pelo fato de separar elementos representáveis em todas as escalas e relevantes muitas vezes entre as divisões existentes. Continuando com a Figura 27, em seguida tem-se a “categoria” que representa as categorias de informações, definidas como sendo um agrupamento das feições com um mesmo seguimento, sendo divididas ainda em pequenas escalas e grandes escalas.

A divisão “classe” tem como objetivo no gráfico desempenhar as classes de objetos, que por definição são agrupamentos estabelecidos a partir de feições com características e comportamentos comuns. Descendendo da classe tem-se, a “descrição” das classes de objetos, “código” de cada classe de objeto, “geometria” vinculada a classe de objeto se a mesma for georreferenciada, “sem geometria” caso a classe de objeto seja convencional. Ainda para as classes de objetos georreferenciadas, elas podem ser do tipo “geo-objeto” e “geo-campo”. Os geo-objetos podem adotar as geometrias “genérica/complexa”, “ponto”, “linha” ou “polígono”, já para os geo-campos podem ser “isolinhas” ou “amostragem”.

Por fim, a divisão “atributo” que representa os atributos das classes de objetos, trazendo a informação de “tipo (tamanho)”, “descrição”, “domínio (valores)” e “requisito (multiplicidade)”. A informações tipo pode tomar valores “alfanuméricos”, “booleano”, “real”, “inteiro”, “auxiliar” que adiciona a respostas *booleana* a de desconhecer o valor e “lista de domínio” que tem sua lista de “descrição” semântica para cada valor a ser adotado.

Figura 28 - Metamodelo do CityGML 2.0.

METAMODELO DO CITYGML 2.0
Unified Modeling Language (UML)



A Figura 28 apresenta o metamodelo do CityGML 2.0, construído conforme metodologia descrita na seção 3.1.1, fazendo a partir do modelo conceitual uma abstração do mesmo, portanto, a ilustração traz as principais características do modelo conceitual do CityGML 2.0. A primeira divisão traz o “nível de detalhe”, que representa o *level of detail*, segundo Biljecki (2017) é uma característica importante em todo “ciclo de vida” de um modelo de cidade.

A segunda divisão é o “módulo temático”, que agrupa objetos importantes com um seguimento em comum na representação de um modelo 3D de cidades. Derivado do módulo temático temos a “classe”, sendo as classes UML que representam os objetos relevantes em uma cidade, como característica das classes há o “atributo” e ligado a ele a “lista de códigos” que elenca os valores que o atributo pode tomar, nas características da classe também estão o “relacionamento” entre elas e a “descrição” das mesmas.

Outras características do módulo temático são sua “descrição” e a “aplicação XML”. A aplicação XML descende para “GML3” e então para “geometria”, que podem ser do tipo “ponto”, “curva”, “superfície”, “sólido” e “agregação”, ainda a agregação pode ser “multiponto”, “multicurva”, “multisuperfície” e “multisólido”. As geometrias serão abordadas de forma mais detalhada no alinhamento entre elementos dos metamodelos.

Como pode-se observar, a partir dos metamodelos é possível perceber os aspectos principais de cada modelo conceitual. Isso é importante para simplificar os modelos e dar início ao alinhamento conceitual, semântico e geométrico. Esta abstração e a exposição visual, conferida pelos esquemas elaborados, permite visualizar a estrutura dos modelos conceituais, dando um panorama geral da modelagem realizada por eles e as relações entre os principais aspectos.

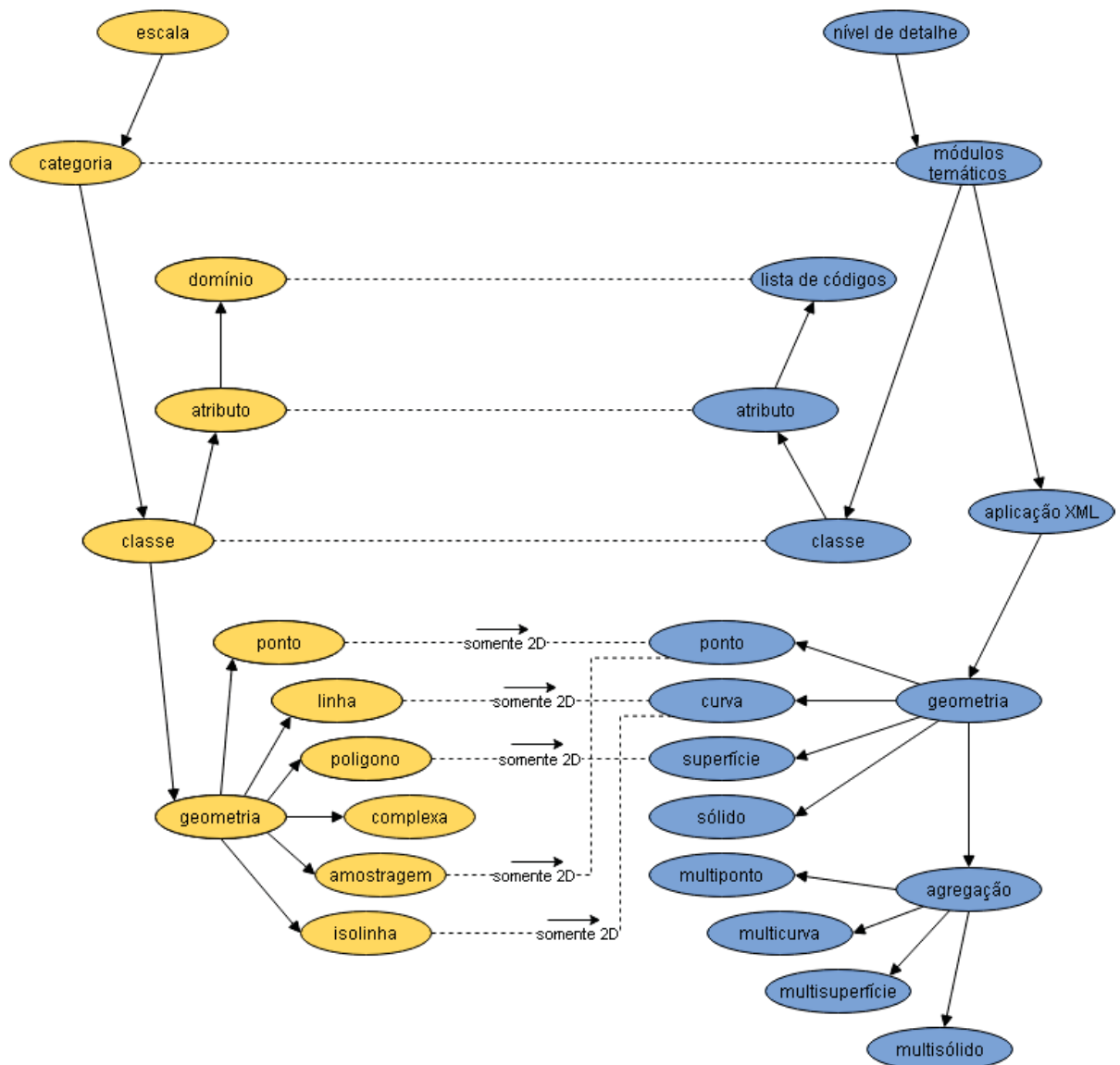
Além disso, é possível externar a geometria dos modelos, na ET-EDGV 3.0 a geometria está intrínseca as classes georreferenciadas por se basear no modelo OMT-G. Para o caso do CityGML 2.0, as geometrias não estão ligadas intrinsecamente às classes, mas tem ligação com elas através de relacionamentos UML no esquema conceitual. Na próxima seção serão apresentados os resultados e as discussões em torno do alinhamento conceitual, semântico e geométrico dos metamodelos apresentados.

4.1.2 Alinhamento entre elementos dos metamodelos

A partir da análise descrita na seção 3.1.2, fez-se o alinhamento entre os elementos dos metamodelos, a partir da comparação de descrições das características de cada metamodelo, e foi estabelecida a relação entre as características do modelo conceitual ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0. Com isso, foi possível gerar uma ilustração mostrando visualmente as correlações.

Figura 29 - Correspondência entre elementos dos metamodelos ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0.

CORRESPONDÊNCIA ENTRE ELEMENTOS DOS MODELOS CONCEITUAIS ET-EDGV 3.0 E CITYGML 2.0



Fonte: O Autor (2021).

A Figura 29 apresenta o gráfico em que é estabelecido o alinhamento entre os elementos dos metamodelos da ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0. Estão representados como elipses amarelas os elementos referentes ao modelo conceitual da ET-EDGV 3.0, e as elipses azuis representam os elementos relativos ao modelo conceitual do CityGML 2.0. Tais elementos dos modelos conceituais tem o relacionamento feito por meio de setas com linhas contínuas e por fim, a correlação entre os aspectos principais dos metamodelos é realizada a partir de linhas tracejadas ligando as elipses amarelas às azuis. Esta correlação é estabelecida com base na descrição de cada característica e sua função no modelo conceitual, conforme descrito na metodologia.

No alinhamento apresentado é possível observar que o elemento *categoria* corresponde aos módulos temáticos, por terem correlação em suas descrições e exercerem a mesma função de dividir os padrões em grandes grupos de objetos relevantes para o mapeamento. Do mesmo modo, as classes de ambos os modelos são equivalentes por fazerem uso da mesma linguagem para a representação de seus esquemas conceituais, a UML. Por isso, os elementos *atributo* também tem equivalência, porém, deve-se ressaltar que os atributos podem ser de tipos diferentes nos modelos conceituais, devido a cada um destes ter o seu propósito de criação. Outra correlação feita é entre o domínio (lista de domínio) e a lista de códigos, ambas têm a mesma função de listar valores possíveis para um tipo de atributo, vale a observação de que a lista de códigos do CityGML 2.0 permite que valores de fora da lista sejam adicionados.

O alinhamento geométrico considera somente a correlação entre os elementos geométricos bidimensionais. Com isso, o elemento ponto da ET-EDGV 3.0 tem alinhamento com seu igual no CityGML 2.0, o elemento linha tem alinhamento com a curva, o elemento polígono tem alinhamento com a superfície, o elemento amostragem tem alinhamento com a geometria ponto e o elemento isolinha tem alinhamento com a geometria curva. O elemento genérica/complexa é adotado para classes complexas na ET-EDGV 3.0 e não teve correlação com demais geometrias no CityGML 2.0, os elementos Sólido e agregados (multiponto, multicurva, multisuperfície e multisólido) estabelecidos no CityGML 2.0 não têm correspondência com nenhuma outra geometria que consta na ET-EDGV 3.0.

A partir do alinhamento geométrico realizado, é importante uma breve discussão acerca das referências para o estabelecimento das geometrias de cada

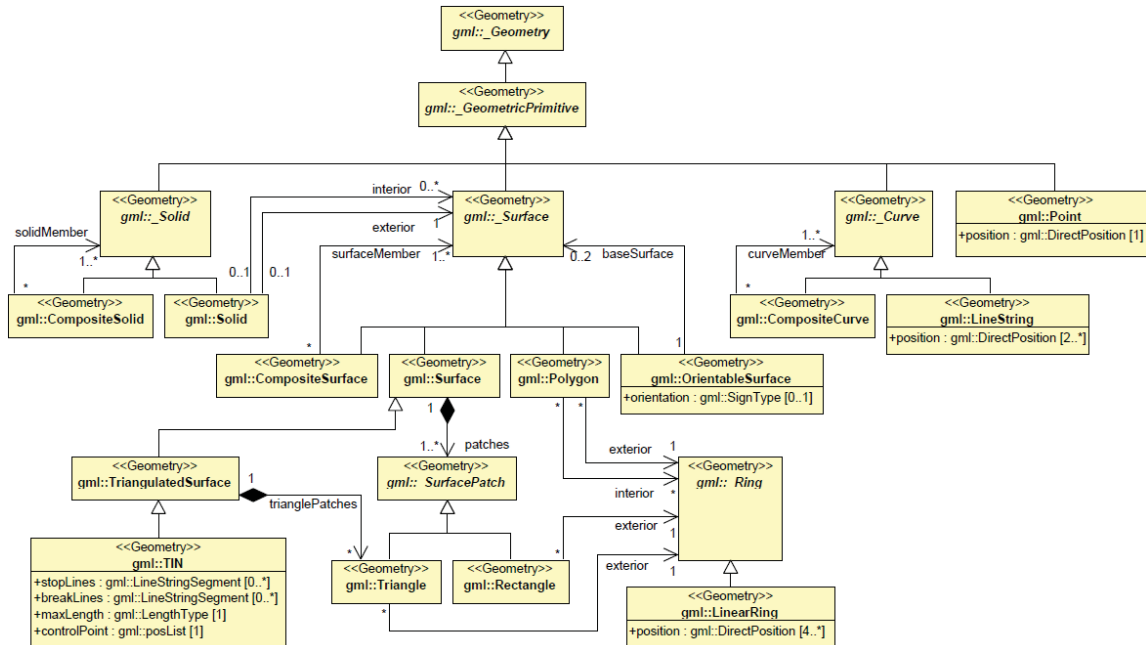
padrão. O padrão ET-EDGV 3.0 utiliza o modelo OMT-G, que por seguimento se baseia na UML, porém, como descrito anteriormente as classes são divididas entre convencionais e georreferenciadas. No entanto, as geometrias estipuladas no modelo OMT-G são descritas no metamodelo, separadas em geo-objeto: Ponto; Linha; Polígono, e geo-campo: Amostragem; Isolinha. Este fato faz com que o padrão ET-EDGV 3.0 fique restrito a representações bidimensionais, indo ao máximo até o nível 2.5D, não possibilitando representações com geometrias realmente tridimensionais (X, Y, Z) e dificultando processos, análises, entre outros métodos que utilizem dados com geometrias 3D.

Por outro lado, o padrão CityGML 2.0 tem como base a ISO 19107:2003 (ISO/TC211, 2003):

“A ISO 19107:2003 especifica esquemas conceituais para descrever as características espaciais das características geográficas, e um conjunto de operações espaciais consistentes com esses esquemas. Ela trata da geometria vetorial e topologia até três dimensões. Define operações espaciais padrão para uso em acesso, consulta, gerenciamento, processamento e troca de dados de informações geográficas para objetos espaciais (geométricos e topológicos) de até três dimensões topológicas inseridas em espaços coordenados de até três eixos. ”

Conforme a Documentação do CityGML 2.0 (OGC, 2012), as primitivas gráficas permitidas são: Ponto; Curva; Superfície, Sólido; e Geometrias agregadas. Conforme diagramas UML apresentados nas Figura 30 e Figura 31.

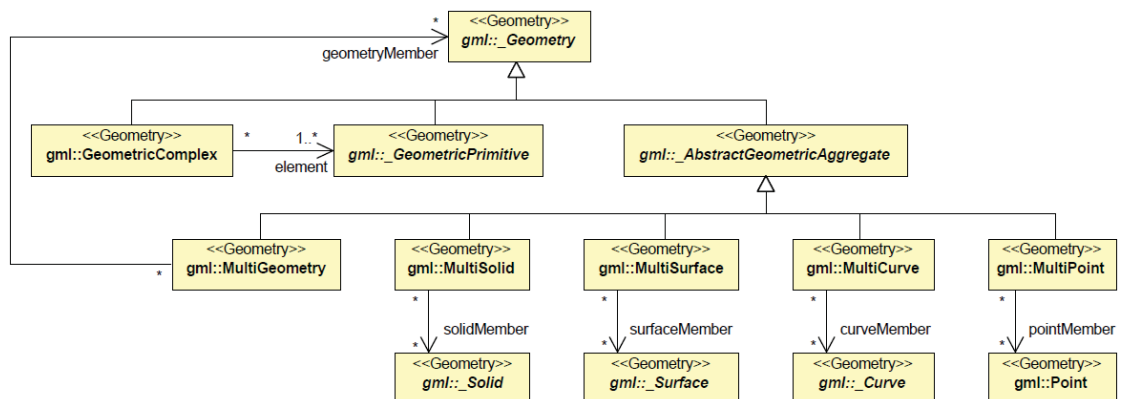
Figura 30 - Diagrama UML do modelo de geometria CityGML: Primitivas e compostas.



Fonte: OGC (2012).

A Figura 30 apresenta o modelo geométrico do CityGML 2.0, baseado na ISO 19107:2003 (ISO/TC211, 2003), como pode-se observar a classe “_GeometricPrimitive” se relaciona com quatro outras classes: “_Solid”; “_Surface”; “_Curve”; e “_Point”. Estas classes citadas se relacionam com outras classes, que representam tipos de geometrias, para _Solid tem-se “CompositeSolid” e “Solid”, para _Surface tem-se “CompositeSurface”, “Surface”, “Polygon” e “OrientableSurface”, para _Curve tem-se “CompositeCurve” e “LineString”. Algumas destas geometrias complexas são apresentadas na Figura 32 e explicadas posteriormente.

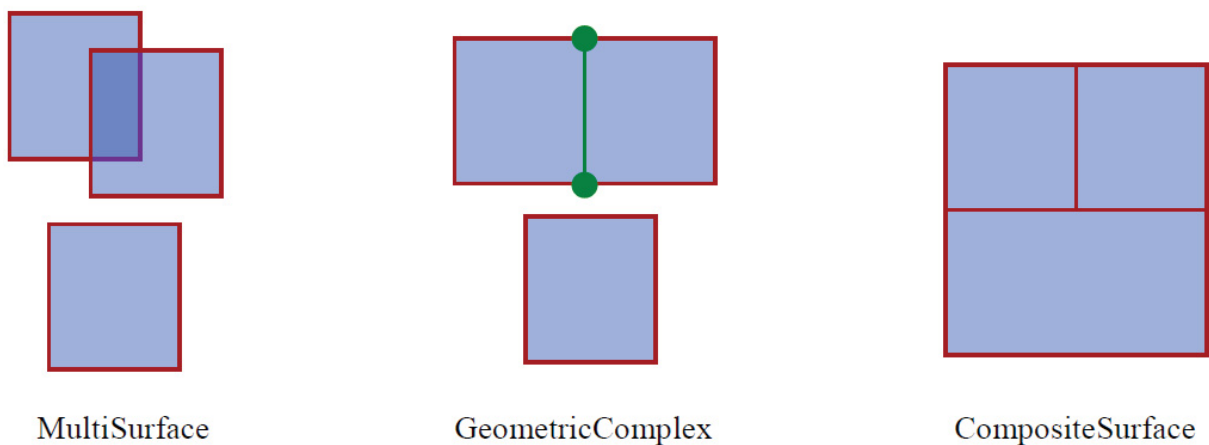
Figura 31 - Diagrama UML do modelo de geometria CityGML: Complexo e agregado.



Fonte: OGC (2012).

A Figura 31 apresenta o modelo geométrico do CityGML 2.0, porém, abordando as geometrias complexas e agregadas, observa-se a classe “_AbstractGeometryAggregate” que se relaciona com as classes de geometria agregada: “MultiPoint”; “MultiCurve”; “MultiSurface”; e “MultiSolid”. Estas geometrias são membros da classe mãe “_Geometry”, conseqüentemente tem relação com as primitivas gráficas apresentadas na Figura 30.

Figura 32 - Geometrias combinadas.



Fonte: OGC (2012).

A Figura 32 aborda a diferença entre a geometria agregada (esquerda), complexa (central) e composta (direita). Como pode ser observado, as três possuem diferenças, mas esta diferenciação se dá principalmente pela topologia. Uma geometria agregada não tem limite espacial de relação, podendo ser separados (*disjoint*), sobrepor (*overlapping*) ou se tocar (*touching*). Geometrias complexas são estruturadas topologicamente, não podem ser separadas (*disjoint*), não devem se sobrepor (*overlapping*) e podem se tocar (*touching*) no máximo em seus limites. Por fim, geometrias compostas são um tipo especial da complexa, onde só podem existir elementos da mesma dimensão (2D ou 3D), estes elementos devem ser separados (*disjoint*) um dos outros, mas devem ser conectados topologicamente pelos seus limites.

Em suma, pode-se perceber que o modelo OMT-G limita o padrão ET-EDGV 3.0 à dimensão dois, em relação a geometria. Por outro lado, o padrão CityGML 2.0 baseado no GML3 e conseqüentemente na ISO 19107:2003, se mostra muito mais

	Escadaria	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2
	Rampa	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2	4 ao 2
Vegetação / Área Verde	Brejo_Pantano	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Caatinga	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Campinarana	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Campo	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Cerrado	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Floresta	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Mangue	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Reflorestamento	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Veg_Area_Contato	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Veg_Cultivada	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Veg_Restinga	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
	Arvore_Isolada	-	-	-	-	-	-
	Jardim	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1	4 ao 1
Edificações	Banheiro_Publico	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edificacao	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Abast_Agua	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Agropec_Ext_Vegetal_Pesca	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Comerc_Serv	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Comunic	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Constr_Aeroportuario	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Constr_Est_Med_Fen	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Constr_Lazer	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Constr_Portuaria	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Constr_Turistica	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Desenv_Social	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Energia	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Ensino	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Ext_Mineral	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Habitacional	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Industrial	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Metro_Feroviaria	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Policia	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Pub_Civil	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Pub_Militar	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Religiosa	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Residencial	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Rodoviaria	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Saneamento	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Edif_Saude	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Hab_Indigena	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Posto_Combustivel	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Posto_Fiscal	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Posto_Guarda_Municipal	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0

	Posto_Policia_Militar	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Posto_Policia_Rod_Federal	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0
	Representacao_Diplomatica	4 ao 3	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0	4 ao 0

Fonte: O Autor (2021) (<https://bitly.com/cmWZY>).

A Tabela 1 ilustra o resultado do cruzamento das informações das tabelas construídas, para os elementos representados como área. Os dados que constam na mesma são as categorias de informação analisadas, classes de objetos de cada categoria de informação e os LOD's considerados para cada classe de objetos. Ao realizar uma análise das informações contidas na tabela, pode-se observar que as escalas maiores (1:1.000) têm por consequência a consideração de LOD's maiores (LOD 3 – 4). Esta lógica apresentada faz sentido, pois quanto maior a escala de aquisição dos dados, mais rica geometricamente a representação será.

Tabela 2 - Relação entre escalas e LOD's, para elementos representados pela geometria linha.

ET-EDGV 3.0		LOD considerado					
Categoria de Informação	Classe	Linha					
		1:1.000	1:10.000	1:25.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000
Estrutura de Mobilidade Urbana	Passagem_Elevada_Viaduto	0	0	0	0	0	0
	Patio	-	-	-	-	-	-
	Ponte	0	0	0	0	0	0
	Travessia_Pesdestre	0	0	0	0	0	0
	Tunel	0	0	0	0	0	0
	Pista_Ponto_Pouso	0	0	0	0	0	0
	Trecho_Ferrovuario	0	0	0	0	0	0
	Canteiro_Central	0	0	0	0	0	0
	Deposito_Geral	-	-	-	-	-	-
	Passeio	0	0	0	0	0	0
	Poste	-	-	-	-	-	-
	Trecho_Arruamento	0	0	0	0	0	0
	Acesso	0	0	0	0	0	0
	Ciclovias	0	0	0	0	0	0
	Elevador	0	0	0	0	0	0
	Escadaria	0	0	0	0	0	0
	Rampa	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2021) (<https://bitly.com/cmWZY>).

A Tabela 2 é o cruzamento de informações de outras duas tabelas citadas. Para elementos representados pela geometria linha, os dados são os mesmos

apresentados na Tabela 1. Contudo, a única categoria de informação analisada e representada pela geometria área e linha, é a estrutura de mobilidade urbana. Portanto, observando a tabela todos os elementos de linha são representados nos LOD's 0 ou 1, isso se dá pelo fato dos elementos do módulo temático *Transportation Objects* serem especificados a partir do LOD 2 e pela geometria área no CityGML 2.0. Outro fato, é que nos LOD 0 e 1 não há especificação da estrutura de transporte no CityGML 2.0, todos os elementos são representados por linhas no LOD 0 e pela classe *TransportationComplex*, no LOD 1 os elementos passam a ser representados por área e pela classe *TransportationComplex*, conforme Figura 22.

Apesar de toda análise feita, é muito importante deixar claro que os LOD's considerados nas tabelas para cada classe não podem ser tomados como verdade absoluta, pois é totalmente possível, por exemplo, que dados tridimensionais adquiridos na escala 1:1.000 ou maiores sejam representados no LOD 0, 1 ou 2. Esta tomada de decisão depende totalmente de um profissional especialista e capacitado, segundo Biljecki (2017), o LOD permeia todos os processos de um projeto cartográfico, para sua definição vários aspectos devem ser levados em consideração, desde seu objetivo até a simbologia a ser utilizada. Além disso, vale citar que em meio a todo este processo encontra-se a generalização cartográfica das feições tridimensionais. Contudo, o processo de generalização ainda carece de formalização, pois através da redução de escala, o profissional seleciona, classifica e padroniza; faz simplificações e combinações intelectuais e gráficas; enfatiza, aumenta e reduz ou elimina feições, levando em consideração certa hierarquia de importância, seguido de simplificações de forma e estrutura (D'ALGE; GOODCHILD, 1996).

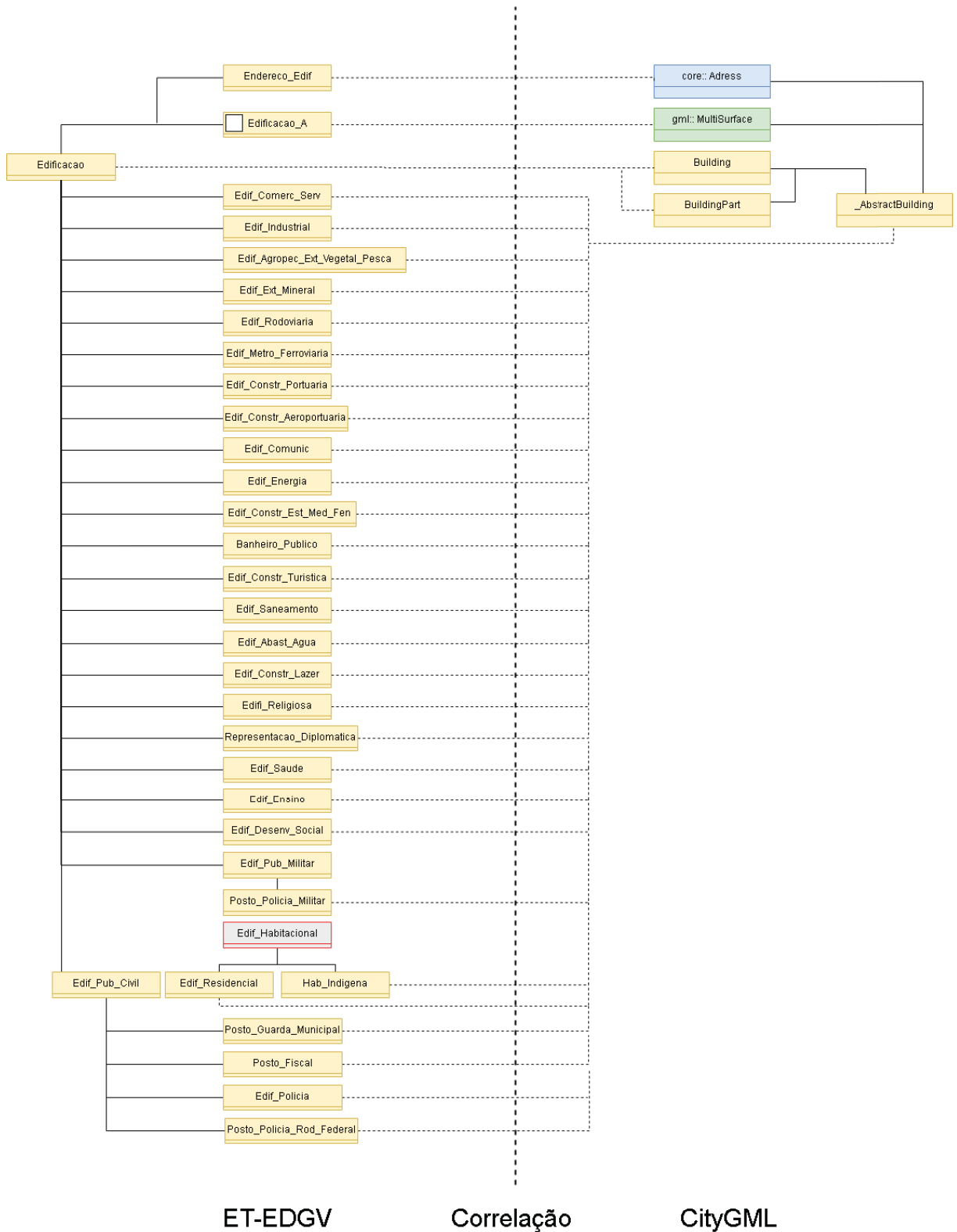
4.2 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA

Os resultados da segunda etapa são divididos em duas partes, o alinhamento das classes pela técnica *Triple Graph Grammar* (TGG) e o alinhamentos de atributos. Assim como comentado anteriormente, a compatibilização semântica compartilha dois processos com a compatibilização geométrica, portanto, alguns processos já realizados serão importantes nesta etapa. A seguir são apresentados os resultados e discussões da compatibilização semântica.

4.2.1 *Triple Graph Grammar*

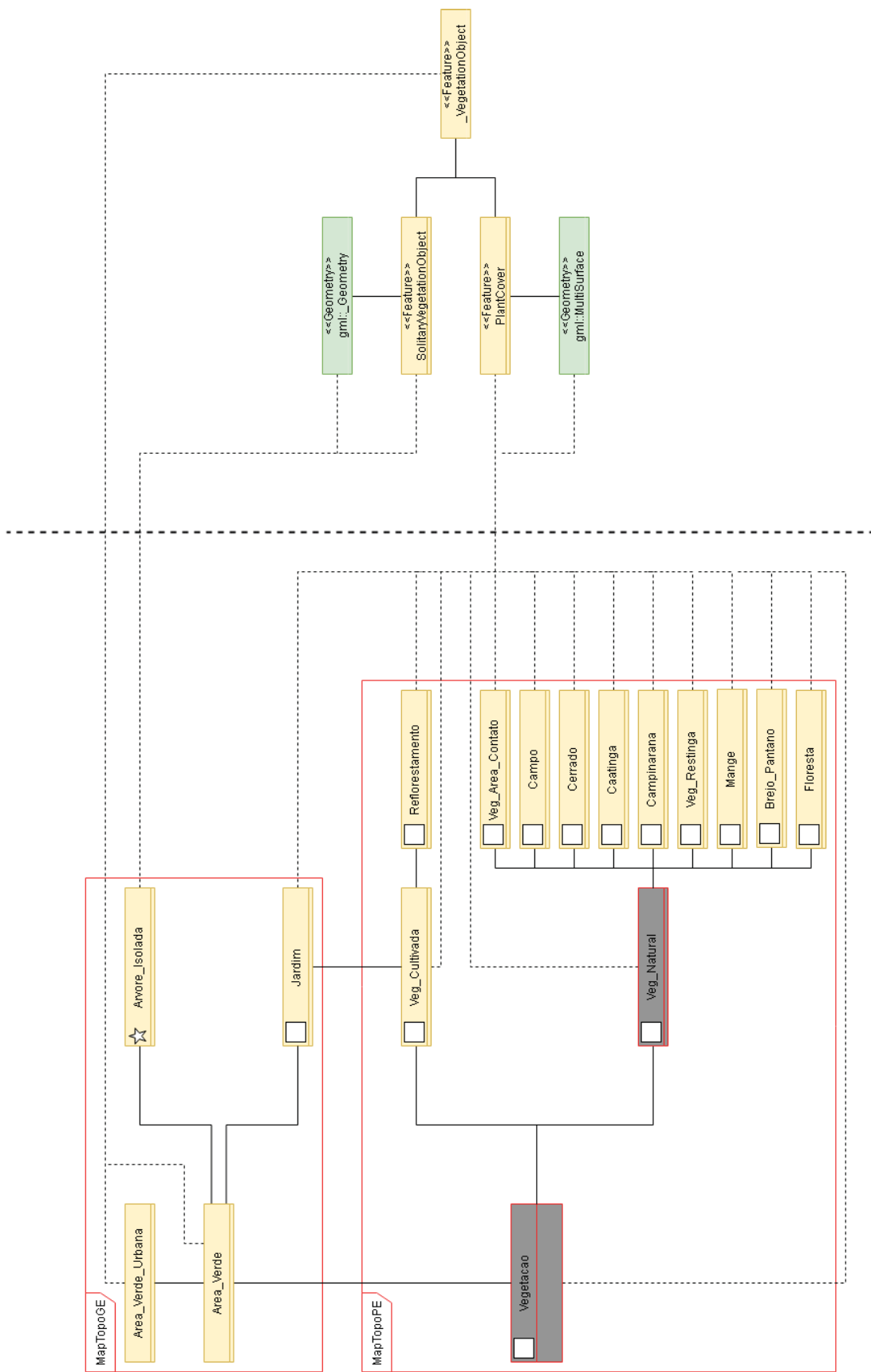
A técnica TGG permite correlacionar dois modelos conceituais, como descrito na metodologia. Isto possibilitou gerar uma ilustração para cada categoria de informação analisada da ET-EDGV 3.0 (edificações, área verde/vegetação e estrutura de mobilidade urbana) com o CityGML 2.0. Para diminuir as informações das ilustrações, foram retiradas da representação de correlação dos padrões os atributos das classes ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, para permitir melhor leitura. Outra ação tomada para facilitar a visualização, foi retirar as classes não compatíveis de ambos os esquemas conceituais da representação final. Retomando brevemente, a composição da ilustração feita a partir da técnica TGG é composta por três gráficos, um gráfico a direita representando um modelo conceitual, um gráfico a esquerda representando outro modelo conceitual e um gráfico alinhando os esquemas conceituais através de linhas tracejadas.

Figura 33 - Gráfico TGG para categoria de informação edificação.



Fonte: O Autor (2021) (<https://bitly.com/TDcNE>).

Figura 34 - Gráfico TGG para categoria de informação de informação área verde/vegetação.



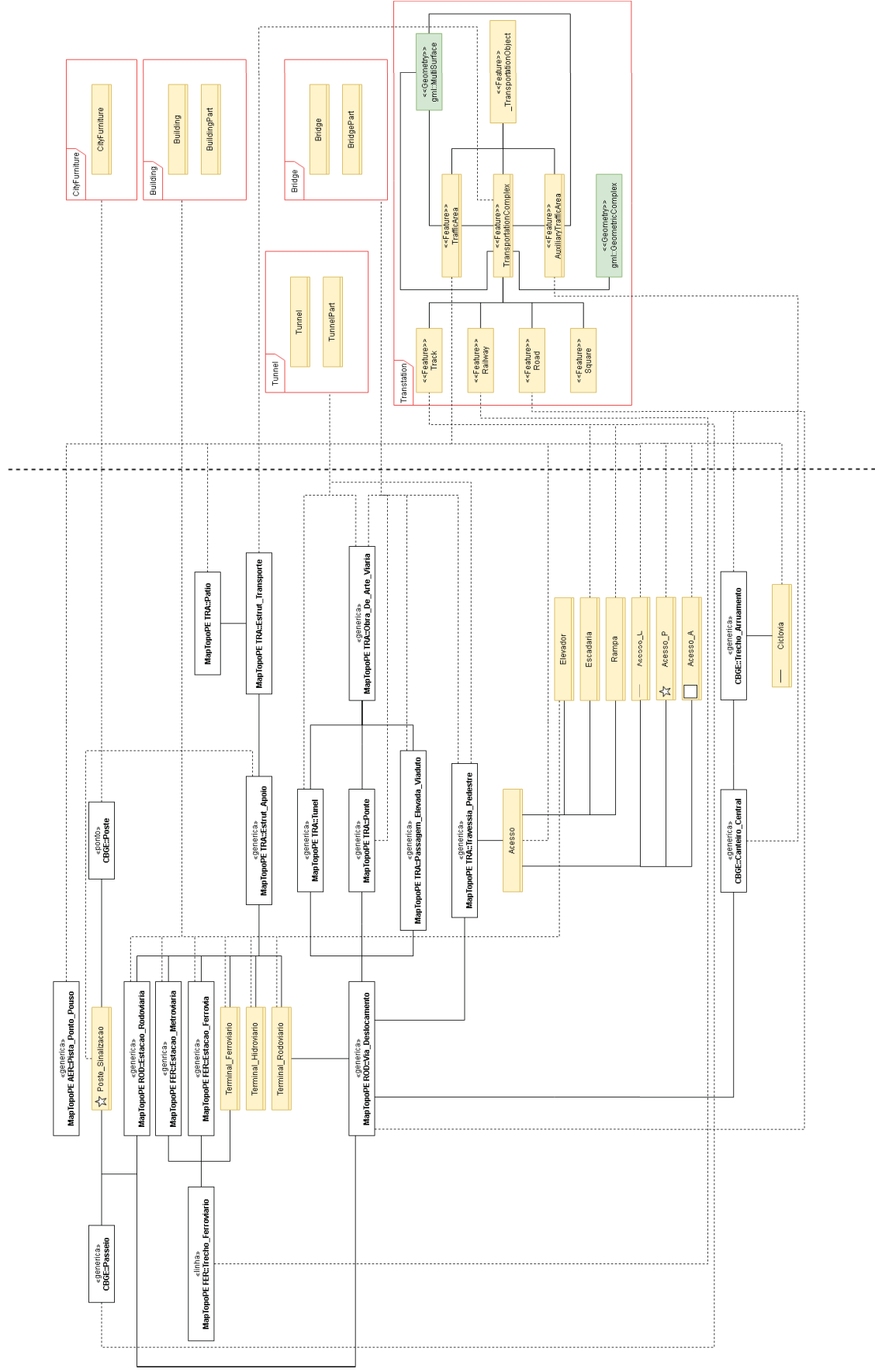
ET-EDGV

Correlação

CityGML

Fonte: O Autor (2021) (<https://url.gratis/83LYv>).

Figura 35 - Gráfico TGG para categoria de informação estrutura de mobilidade urbana.



CityGML

Correlação

ET-EDGV

Fonte: O Autor (2021) (<https://url.gratis/w7FUoG>).

As Figura 33, Figura 34 e Figura 35 apresentam os gráficos gerados a partir da análise dos esquemas conceituais ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, a partir da técnica TGG. Em ordem, o primeiro esquema trata da correlação entre a categoria de informação Edificação e o módulo temático *Building*, a segunda entre a categoria de informação Área verde/Vegetação e do módulo temático *Vegetation* e por fim, a correlação entre a categoria de informação Estrutura de Mobilidade Urbana e o módulo temático *Transportation*. As três figuras seguem um padrão, o gráfico a esquerda representando o esquema conceitual ET-EDGV 3.0, o gráfico a direita representando o esquema conceitual CityGML 2.0 e o gráfico de linhas tracejadas relacionando classes com correlação.

A Figura 33 apresenta o alinhamento das classes com correlação entre os esquemas conceituais da categoria de informação Edificação e o módulo temático *Building*. Como podemos perceber todas as especializações da classe Edificação correspondem à classe *_AbstractBuilding*, onde é feita a especialização das edificações a partir dos atributos *class*, *function* e *usage*. A classe central Edificação, corresponde às classes *Building* e *BuildingPart*, que representam as edificações em geral no padrão CityGML 2.0 e são posteriormente especializadas pelos atributos da classe *_AbstractBuilding*. Ainda sobre a classe central, a mesma tem a possibilidade de ser representada de duas formas (ponto e área) dependendo da escala de representação. Porém, no padrão CityGML 2.0 as edificações são representadas somente pelas geometrias área (*_Surface*), sólido (*_Solid*), complexas, agregadas e compostas, desta forma não há compatibilidade com representações de edificações de geometria ponto. Por fim, a classe Endereco_Edif é compatível com a classe core: Address, onde são relacionados os endereços de edificações, o padrão CityGML 2.0 faz uso do padrão *Extensible Address Language* (xAL) para a descrição dos endereços.

A Figura 34 apresenta o alinhamento das classes com correlação entre os esquemas conceituais da categoria de informação Área Verde/Vegetação e o módulo temático *Vegetation*. São duas categorias de informação sendo: Área Verde, do MapTopoGE; e Vegetação, do MapTopoPE. Foram utilizadas as duas categorias de informação devido à Área Verde necessitar dos elementos da categoria de informação Vegetação, além disso, a categoria Vegetação é representada em todas as escalas. Com isso, na Figura 34 do lado esquerdo tem-se dois retângulos com bordas vermelhas, nomeados por MapTopoGE e MapTopoPE, dividindo as classes das duas

categorias de informação. Portando, dando início pela Área Verde do MapTopoGE, a classe central é a *Area_Verde* e se relaciona com *Area_Verde_Urbana*, ambas correspondem a classe *_VegetationObject* no CityGML 2.0. Em seguida, a classe *Area_Verde* pode ser representada pelas classes *Arvore_Isolada* (ponto) e *Jardim* (área), a classe *Arvore_Isolada* corresponde a *SolitaryVegetationObject* e a classe *Jardim* a *PlantCover*. Com relação a geometria da classe *Arvore_Isolada*, esta corresponde a *_Geometry* (Figura 30), pois quando um ponto passa a ser representado de forma tridimensional o mesmo é adicionado volume. A categoria de informação Vegetação do MapTopoPE tem como classe central a *Vegetacao* e corresponde a classe *PlantCover*, assim como suas demais especializações.

Por fim, a Figura 35 ilustra o alinhamento das classes com correlação entre os esquemas conceituais da categoria de informação Estrutura de Mobilidade Urbana e elementos dos módulos temáticos *CityFurniture*, *Building*, *Tunnel*, *Bridge* e *Transportation*. A compatibilização das classes referentes a Estrutura de Mobilidade Urbana é mais complexa, pois reúne diferentes elementos de uma cidade, envolvendo consequentemente diferentes módulos temáticos do CityGML 2.0. Outro fato que propicia a complexidade na compatibilização, é a necessidade da Estrutura de Mobilidade Urbana fazer ligações com categorias de informação do MapTopoPE com relação ao Sistema de Transporte, que é dividido em: Sistema de Transporte/Aeroportuário; Sistema de Transporte/Dutos; Sistema de Transporte/Ferrovário; Sistema de Transporte/Hidroviário; e Sistema de Transporte/Rodoviário.

Portando, não há uma classe central para a Estrutura de Mobilidade Urbana, esta categoria envolve elementos da infraestrutura urbana (postes de iluminação, de sinalização, sinais de trânsito, painéis publicitários, bancos ou pontos de ônibus), edificações, pontes, túneis e malha viária. As classes *Estacao_Rodoviaria*, *Estacao_Metroviaria*, *Estacao_Ferrovitaria*, *Terminal_Rodoviaria*, *Terminal_Hidroviario*, *Teriminal_Ferrovionario* e *Elevador* correspondem a *Building* e *BuildingPart*, do módulo temático *Building*. As classes *Poste_Sinalização*, *Poste* e *Estrut_Apoio* correspondem a *CityFurniture*, do módulo temático *CityFurniture*. As classes *Tunel*, *Obra_De_Arte_Viaria* e *Travessia_Pedestre* correspondem a *Tunnel*, do módulo temático *Tunnel*. As classes *Obra_De_Arte_Viaria*, *Ponto*, *Passagem_Elevada_Viaduto* e *Travessia_Pedestre* correspondem a *Bridge*, do módulo temático *Bridge*. Como é possível observar, algumas classes correspondem

a dois módulos temáticos de uma vez, a classe *Obra_De_Arte_Viaria* está nesta situação pelo fato de poder ser uma ponte, túnel ou viaduto, outra classe é a *Travessia_Pedestre* que pode ser aérea ou subterrânea, por isso ambas classes tem correspondência com os módulos temáticos *Tunnel* e *Bridge*, este fato expõe bem a diferença entre os padrões e coloca que uma classe do esquema conceitual pode corresponder a mais de uma classe no padrão que está sendo comparado.

Ainda na Figura 35, as classes restantes têm correspondência somente com classes do módulo temático *Transportation*, portanto, as classes *Pista_Ponto_Pouso*, *Patio*, *Acesso* e *Ciclovia* correspondem a *TrafficArea*, classe *Canteiro_Central* corresponde a *AuxiliaryTrafficArea*, classes *Escadaria*, *Rampa* e *Passeio* correspondem a *Track*, a classe *Trecho_Ferrovuario* corresponde a *Railway*, as classes *Trecho_Arruamento* e *Via_Deslocamento* correspondem a *Road*, a classe *Estrut_Transporte* corresponde a *TransportationComplex*. Algumas classes que a categoria de informação Estrutura de Mobilidade Urbana faz menção já foram compatibilizadas anteriormente, por isso, estas não foram incluídas nesta representação e serão mencionadas na seção 4.3.

4.2.2 Alinhamento de atributos

O alinhamento de atributos da ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0, realizado por meio da comparação das descrições, gerou como resultado 70 tabelas divididas entre as categorias de informação Edificação (<https://url.gratis/z1ujxZ>), Área Verde/Vegetação (<https://url.gratis/z36aum>) e Estrutura de Mobilidade Urbana (<https://url.gratis/RrnWsl>), sendo: 26 para Edificação; 17 para Área Verde/Vegetação; e 27 para Estrutura de Mobilidade Urbana. Esta quantidade de tabelas geradas se dá ao fato de ter sido confeccionada uma para cada classe compatibilizada, como mostrado na seção 4.2.1. Portanto, não serão apresentadas todas as tabelas resultantes da metodologia e alguns exemplos estarão dispostos para expor o padrão utilizado.

Quadro 7 - Alinhamento de atributos.

ET-EDGV	CityGML		
Endereco_Edif	Módulo	Classe	Atributo
CEP	Core	Address	PostalCode
pais	Core	Address	Country
unidadeFederacao	Core	Address	AdministrativeArea
municipio	Core	Address	Locality
bairro	Core	Address	DependentLocality
logradouro	Core	Address	Thoroughfare > ThoroughfareName
bloco	Core	Address	Premise > BuildingName
numeroSequencial	Core	Address	Thoroughfare > ThoroughfareNumber
numeroMetrico			
numeroPavimento	Building	_AbstractBuilding	storeysAboveGound
	Building	_AbstractBuilding	storeysBelowGound

Fonte: O Autor (2021) (<https://url.gratis/z1ujxZ>).

O Quadro 7 mostra um exemplo de esquema criado para expor o alinhamento de atributos, sendo a primeira coluna a classe ET-EDGV e os atributos desta classe, nas demais colunas as informações são do CityGML, onde: a segunda coluna aponta o módulo temático com o qual o atributo compatível se encontra; a terceira coluna apresenta a classe na qual o atributo compatível se encontra; e na quarta coluna está o atributo CityGML compatível com atributo ET-EDGV. Todas as tabelas construídas seguem este padrão, porém, em alguns casos os atributos compatíveis não se encontram na mesma classe compatível, um exemplo disso é o atributo numeroPavimento no Quadro 7.

Previamente ao término do alinhamento dos atributos, foi possível perceber que muitos atributos da ET-EDGV 2.0, dentre as classes compatibilizadas, não tiveram correlação, criando “buracos” de informações nas classes. Este fato, terá uma maior discussão e aprofundamento nas próximas seções.

4.3 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA

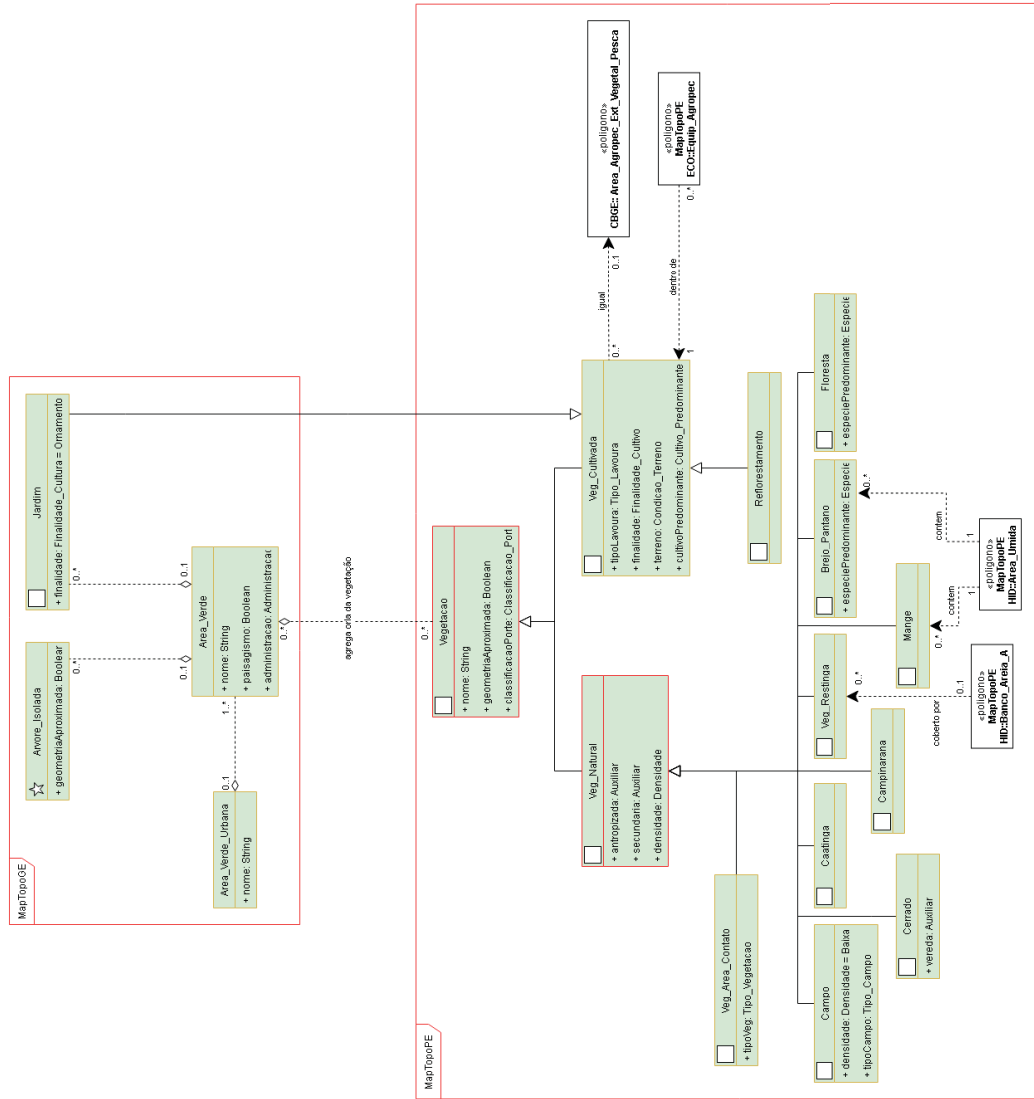
As análises de correspondência ocorridas durante os processos de compatibilização entre os padrões ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0 é muito importante, para tornar possível que posteriormente sejam propostas soluções mais adequadas a estas falhas encontradas ou se este realmente é o caminho mais correto para a compatibilização. Mas é relevante colocar novamente, que a análise de

correspondência na compatibilização se trata da verificação de elementos não compatíveis entre ambos os padrões. Os resultados conferidos pela metodologia estão divididos em duas partes: Classes, detecção de classes não compatíveis entre os padrões; e Atributos, detecção de atributos não compatíveis entre os padrões.

4.3.1 Classes

A análise de correspondência na compatibilização de classes realizada com base nos resultados apresentados na seção 4.2.1, tem como objetivo colocar lado a lado o esquema conceitual da categoria de informação e o módulo temático compatível, e então, destacar as classes não compatíveis a nenhuma outra entre os padrões. Como resultado, as Figura 36, Figura 37 e Figura 38 apresentam visualmente as classes sem compatibilidade entre os padrões: as classes compatíveis estão na cor verde, as classes não compatíveis estão na cor vermelha e as classes que já foram colocadas como compatíveis em alguma outra imagem estão na cor amarela.

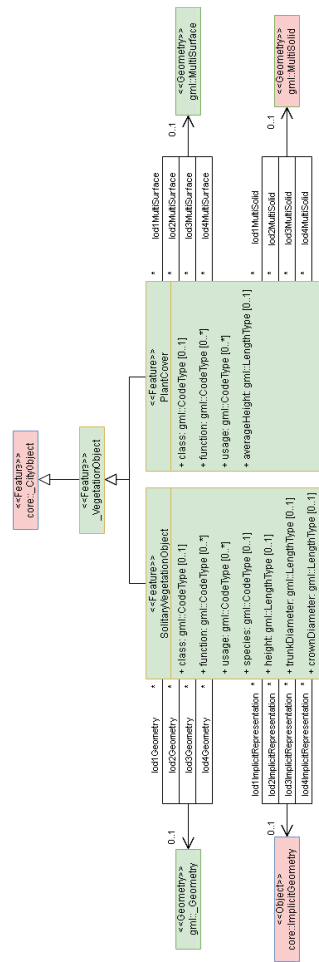
Figura 37 – Análise de correspondência nas classes (Área Verde/Vegetação).



ET-EDGV

Fonte: O Autor (2021) (<https://url.gratis/Q8FBnY>).

CityGML



A Figura 36 apresenta as classes dos esquemas conceituais compatíveis e sem compatibilidade, estando à esquerda o esquema conceitual ET-EDGV 3.0 (Edificação) e a direita o esquema conceitual do CityGML 2.0 (*Building*). Portanto, as classes da ET-EDGV 3.0 sem compatibilidade marcadas em vermelho são: *Classif_Econ_Administ*; e *Edificacao_P*. Para o CityGML 2.0 as classes sem correspondência são: *core:_CityObject*; *core:_Site*; *core:_ImplicitGeometry*; *gml:_Geometry*; *BuildingInstallation*; *IntBuildingInstallation*; *BuildingFurniture*; *Room*; *_Opening*; *gml:_Solid*; *Window*; *Door*; *gml:MultiCurve* e *_BoundarySurface* (*GroundSurface*, *ClosureSurface*, *CeilingSurface*, *InteriorWallSurface*, *FloorSurface*, *WallSurface*, *RoofSurface*, *OuterCeilingSurface*, *OuterFloorSurface*). A partir disso, pode-se perceber que poucas classes da ET-EDGV 3.0 não foram atendidas pelo CityGML 2.0, mas a recíproca não é verdadeira. Realizando uma análise, a categoria de informação Edificação tem 36 classes e 34 são compatíveis com alguma outra classe do CityGML 2.0, então aproximadamente 94% das classes tem compatibilidade. Já no CityGML 2.0 no módulo temático *Building* são somadas 29 classes das quais somente 5 tem compatibilidade com a ET-EDGV 3.0, isso resulta em um percentual de aproximadamente 17%. Ampliando a análise, pode-se observar que grande parte das classes do CityGML 2.0 em que não há compatibilidade, estão relacionadas a geometria de representação tridimensional, portanto, pode-se reafirmar que a ET-EDGV 3.0 está restrita a representações bidimensionais.

Na Figura 37 a análise de correspondência entre os padrões ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0 é destacado, entre a categoria de informação Área Verde (MapTopoGE) /Vegetação (MapTopoPE) à direita, e o módulo temático *Vegetation* à esquerda. As classes na figura marcadas em vermelho destacam a não correspondência. Para a ET-EDGV 3.0 não houve classe sem correspondência com o CityGML 2.0, já para o CityGML 2.0 estas classes são: *core:_CityObject*; *core:_ImplicitObject*; e *gml:MultiSolid*. Com isso, a categoria de informação Área Verde e Vegetação somam juntas 17 classes e todas tiveram correlação com alguma classe do CityGML 2.0. Já o módulo temático tem 8 classes das quais 5 têm correspondência com a ET-EDGV 3.0, resultando em um percentual de aproximadamente 62% de correspondência. Assim, reparando as classes do CityGML 2.0 sem correspondência, constata-se novamente que o padrão ET-EDGV 3.0 esbarra na representação tridimensional.

Por fim, a Figura 38 apresenta a análise de correspondência na compatibilização de classes, para a categoria de informação Estrutura de Mobilidade

Urbana (esquerda) e o módulo temático *Transportation* (direita). Classes destacadas em vermelho configuram a não correlação com qualquer outra classe. A ET-EDGV 3.0 apresenta as seguintes classes: *Caminho_Aereo*; *Funicular*; *Trecho_Hidroviario*; *Acesso_L*; *Acesso_P*; *Entroncamento_Pto*; *Entroncamento*; *Entroncamento_Area*; *Travessia_Pedestre_L*; e *Travessia_Pedestre_P*. Para o CityGML 2.0 estas classes são: *core_CityObject*. A partir destes dados a categoria de informação Estrutura de Mobilidade Urbana tem no total 40 classes nas quais 32 tem correspondência com o CityGML 2.0. Esta proporção resulta em aproximadamente 80% de correspondência. Quando a análise contrária é realizada temos no módulo temático 11 classes das quais 10 tem correlação com a ET-EDGV 3.0, um percentual de aproximadamente 90%. Analisando os resultados, a correspondência entre os padrões foi alta, porém, quando observa-se as classes ET-EDGV 3.0 grande parte delas se refere a representações com primitiva ponto ou linha, sendo que no padrão CityGML 2.0 esses elementos são representados com a geometria de área ou sólido.

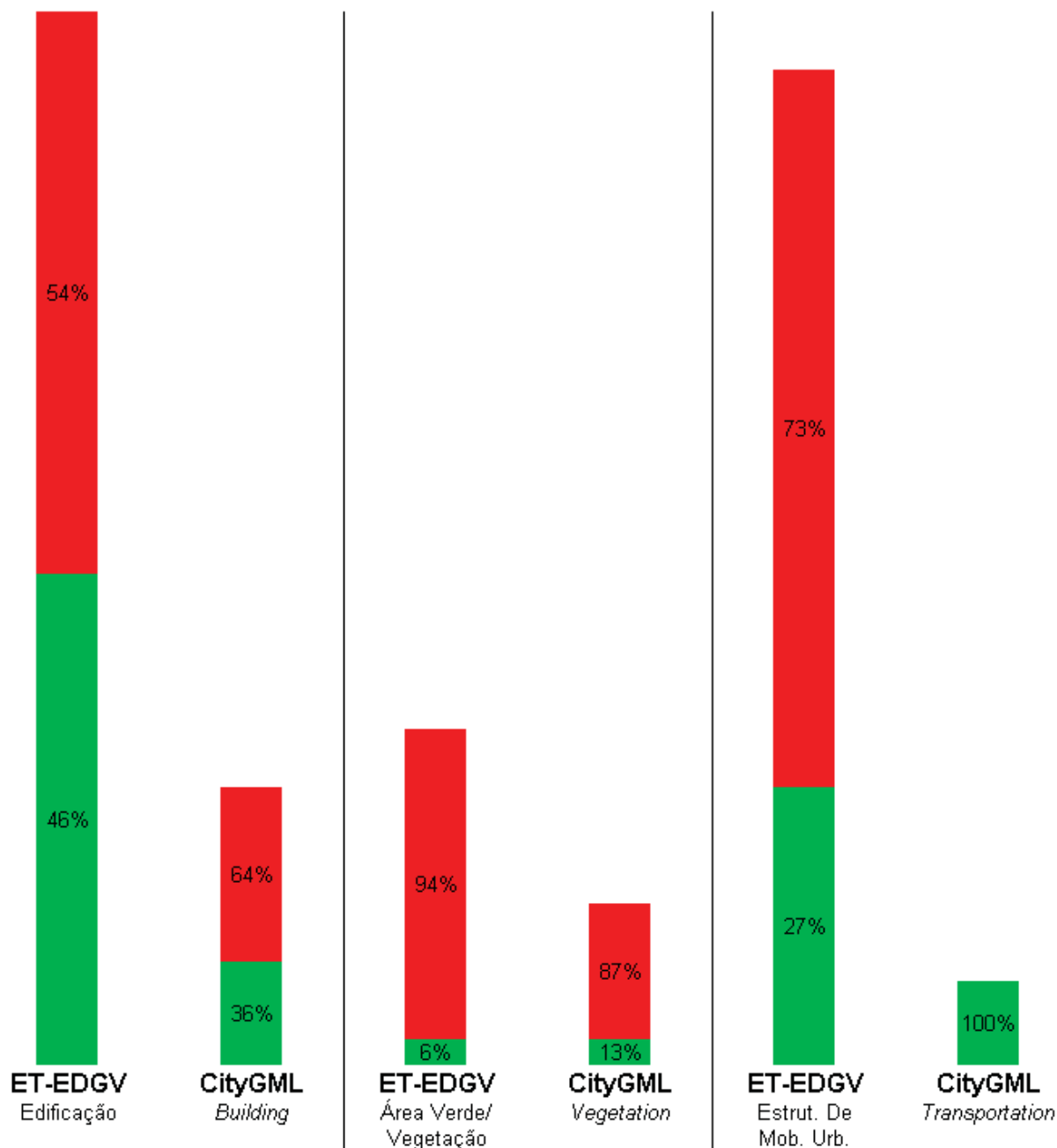
A partir dos dados explicitados, é possível observar que a ET-EGV 3.0 teve grande parte de suas classes com correspondência ao CityGML 2.0, mas para alguns assuntos o inverso não é verdadeiro. Também foi possível notar, que a baixa correspondência das classes CityGML 2.0 a ET-EDGV 3.0 se deu em grande parte por algumas delas serem representáveis somente com geometrias tridimensionais, sendo a possível consequência o engessamento das representações bidimensionais causado pelo modelo OMT-G, contudo, este resultado já era esperado pelo fato do CityGML 2.0 ser um padrão 3D e a ET-EDGV 3.0 ser 2D. Analisando por parte das classes ET-EDGV 3.0 sem correspondência, consegue-se perceber que ainda falta aparatos ao CityGML 2.0 para a especialização de algumas classes, porém, em alguns casos é possível realizar esta especialização por meio dos atributos *class*, *function* e *usage* adicionando elementos a *codelist*.

4.3.2 Atributos

A etapa de análise de correspondência no alinhamento dos atributos realizada a partir dos resultados mostrados na seção 4.2.2, possibilitou mapear os atributos sem correlação entre os padrões e expor lapsos na correspondência da modelagem. A Figura 39 apresenta uma visão geral da comparação da compatibilidade entre os atributos ET-EDGV 3.0 e CityGML 2.0. A parte em vermelho representa os atributos

sem correspondência com o outro padrão e a parte em verde os atributos com correlação com o outro padrão.

Figura 39 - Análise de correspondência em atributos.



Fonte: O Autor (2021).

A Figura 39 é composta por 6 barras, sendo comparadas duas a duas, a primeira comparada com a segunda, a terceira comparada a quarta e a quinta comparada a sexta, para que se possa comparar os atributos das categorias de

informações a seus módulos temáticos compatíveis. Portanto, ao comparar as duas primeiras colunas, é possível perceber que aproximadamente menos da metade dos atributos da categoria de informação Edificação tem correspondência com o módulo temático *Building*, (aproximadamente 46% de correspondência). Ainda na comparação da primeira e segunda coluna, observa-se que na segunda coluna que os atributos com correspondência do CityGML 2.0 na ET-EDGV 3.0 estão abaixo da metade também, resultando em aproximadamente 36% de correspondência.

Seguindo para a comparação da terceira e quarta coluna, é perceptível que a correlação de atributos em ambos os padrões é extremamente baixa, mas que proporcionalmente na amplitude das barras a correspondência da ET-EDGV 3.0 é menor, totalizando para a ET-EDGV 3.0 um percentual de aproximadamente 6% e para o CityGML 2.0 de aproximadamente 13%. Contudo, este é um resultado interessante, pelo fato da compatibilização das classes ter sido alta entre as categorias de informação Área Verde/Vegetação e o módulo temático *Vegetation*.

Comparando as duas últimas colunas, que representam a categoria de informação Estrutura de Mobilidade Urbana e o módulo temático *Transportation*, observa-se na quinta coluna, que a correspondência da ET-EDGV 3.0 é baixa em relação a sua amplitude, sendo o valor desta proporção de aproximadamente 27% de correspondência. Já a correlação do CityGML 2.0 para a ET-EDGV 3.0 foi de 100%, não havendo atributo sem correspondência.

Observa-se que com relação aos atributos, o padrão CityGML 2.0 se apresenta semanticamente mais pobre, não possibilitando o atendimento de características locais abordadas pela ET-EDGV 3.0. Contudo, esta constatação pode ser explicada e entendida, a partir do momento que um padrão ou modelo conceitual tem o seu desenvolvimento realizado com um objetivo específico a atender, seus resultados muito possivelmente serão diferentes na estruturação, organização e representação dos dados de uma mesma área, portanto, dificilmente padrões e seus modelos conceituais terão 100% de correspondência.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa desenvolvida ressalta a necessidade de um padrão de dados tridimensional para compor a infraestrutura nacional de dados espaciais. Neste sentido, na pesquisa foi proposta a integração da Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0) e o padrão internacional CityGML 2.0 para a modelagem de dados de referência tridimensionais, utilizando diferentes elementos oriundos de métodos e pesquisas já existentes, viabilizando a compatibilização geométrica e semântica dos padrões. A compatibilização entre esses padrões é importante pois, subsidia aplicações automáticas de correspondência entre modelos, garante a relação entre os dados já existentes nesses padrões e corrobora a expansão da ET-EDGV 3.0, a qual atualmente não contempla a terceira dimensão.

Os objetivos da pesquisa foram alcançados, sendo que dentre os três objetivos específicos propostos, dois deles apresentaram algumas restrições. Abaixo seguem as respectivas considerações a respeito.

Os resultados apresentados mostram que para as questões geométricas há uma limitação na ET-EDGV 3.0 com relação a primitivas tridimensionais. Isso é causado principalmente pelo modelo OMT-G que em seu estado atual não permite a adoção de geometrias mais complexas como ponto, linha e polígono, restringindo o padrão a apenas representações bidimensionais, ou ainda ao 2.5D chamado também de representação por extrusão. Porém, para uma infraestrutura nacional de dados espaciais não é interessante que um dado tão importante para a representação fique separado de seus iguais, ou seja, externo ao dado original, facilitando perda de dados. Resumidamente, neste caso é extremamente importante que para uma infraestrutura nacional de dados espaciais a geometria oferecida pelo padrão responsável por estruturar dados geoespaciais vetoriais seja verdadeiramente tridimensional (aloque as coordenadas X, Y, Z em um mesmo local com sua geometria). Além disso, vale ressaltar que a relação entre as escalas e os LOD's não devem ser tomadas como verdades absolutas e são de análises feitas a partir de dados disponíveis pelas documentações dos padrões estudados. Portanto, os LOD's propostos para cada classe de objetos atuam como base para as representações que futuramente possam ser feitas. Um grande motivo para isso é de que a definição do LOD de uma representação é muito mais complexa do que considerar somente a escala e o

elemento mínimo mapeável. Esta questão permeia todas as fases de uma representação, desde a definição do objetivo, aquisição de dados, representação até o usuário.

Com relação a parte semântica da compatibilização na pesquisa, onde foram realizados os alinhamentos das classes e atributos, alguns comentários devem ser feitos frente aos resultados que alcançaram baixos percentuais de correspondência. Primeiramente, vale ressaltar que o padrão ET-EDGV 3.0 foi concebido a partir de necessidades e objetivos a serem alcançados no âmbito nacional. É inegável que obteve grande êxito na infraestrutura nacional de dados espaciais, assim como o padrão internacional CityGML 2.0 foi feito a sua época com seus próprios objetivos e necessidades a sanar. Outro ponto importante entre os padrões são as linguagens utilizadas para a modelagem de dados, o padrão ET-EDGV 3.0 se baseia na linguagem OMT-G, enquanto o padrão CityGML 2.0 se baseia na linguagem GML3 e, conseqüentemente, na ISO 19107:2003. Porém, mesmo ambos sendo revisados periodicamente dificilmente terão correspondência total de aspectos, classes e atributos. Os gráficos produzidos através da técnica TGG propiciaram o alinhamento das classes facilitando a visualização da correlação entre elas. A técnica é uma forte ferramenta utilizada para a compatibilização de modelos conceituais com o intuito de gerar regras para conversão de arquivos, porém, algumas imagens geradas dos esquemas conceituais fazendo a correlação entre os padrões tiveram a visualização desafiadora por se tratar de um número elevado de classes, mas para contornar estas dificuldades as figuras foram disponibilizadas digitalmente na internet. Além disso, foi possível evidenciar novamente as limitações da ET-EDGV 3.0 quanto às feições e geometrias tridimensionais, pois ao haver classes com as quais se relacionam com geometrias tridimensionais geralmente a ET-EDGV 3.0 não há correspondência. Outro ponto importante são os atributos que não tiveram grande correlação nos padrões estudados, ocasionando em muitas classes falta de informação com atributos muito importantes sem correspondência. A partir disso foi possível observar que em relação aos atributos o padrão CityGML 2.0 é semanticamente pobre para as necessidades no âmbito nacional, contexto no qual a ET-EDGV 3.0 é modelada para atender. Contudo, apesar da ET-EDGV 3.0 ser modelada para atender requisitos nacionais, em relação aos atributos grande parte destes não tem seu preenchimento obrigatório, com isso, seria interessante a adoção de modelos com maior flexibilidade para que atributos sem preenchimento não tivessem a necessidade de constar nos

bancos de dados e evitando a confusão de possíveis usuários, um exemplo seria o modelo de *tags* utilizado pelo *OpenStreetMap* (OSM).

Finalmente, o terceiro e último objetivo específico foi atendido a partir da análise de correspondência feita na compatibilização entre os padrões, possibilitando ressaltar aspectos, classes e atributos sem correlação entre eles. Estas detecções também permitiram reafirmar e evidenciar os pontos em que cada padrão não desempenha um papel adequado. Como exemplo, grande parte das classes CityGML 2.0 com representação restrita a geometrias tridimensionais não obtiveram correlação a classes ET-EDGV 3.0, reforçando a necessidade da mudança de linguagem de modelagem da ET-EDGV 3.0. Além disso, a compatibilização de atributos não alcançou grande percentual de correspondência, sendo permissível reafirmar o não desempenho adequado do CityGML 2.0 perante as necessidades exercidas pela ET-EDGV 3.0.

Assim, observando os resultados apresentados, discussões e considerações, é possível perceber que o padrão ET-EDGV 3.0 tem deficiências ao atender geometricamente algumas primitivas. Desta forma, a versão da norma ISO 19125:2004, que trata do estabelecimento de uma arquitetura comum para informações geográficas e define termos a serem utilizados dentro da arquitetura, surge como uma alternativa para trabalhos que necessitem a modelagem de dados 3D conceitual. Quando se pretende alcançar representações mais próximas da realidade em dimensões mais altas, este é um aspecto importante no panorama atual em que o acesso aos dados tridimensionais está amplamente facilitado e sendo utilizado. Além disso, por esta facilidade a tais informações grande parte das aquisições de dados não lançam mão de adquirir a terceira dimensão (coordenada Z), dados que frequentemente são gerados processados, vetorizados e disponibilizados de diferentes formas, ou ainda, se perdendo com a ausência de um padrão de estruturação de dados geoespaciais sem amplitude a dados tridimensionais. Desta forma, algumas colocações cabem ao padrão internacional CityGML 2.0. Como dito anteriormente, é possível observar que semanticamente este padrão é insuficiente em relação aos atributos devido ao objetivo e necessidades com as quais foi concebido. Porém, este padrão se apresenta muito adaptável com a possibilidade para adição de elementos a *codelist* e, além disso, observando algumas pesquisas pode-se detectar muitos estudos que realizam proposições de extensões para o padrão, demonstrando mais um aspecto de resiliência do mesmo.

Esta característica foi citada, pois para suprir as necessidades semânticas de atributos não atendidos pelo CityGML 2.0 uma solução para esta carência seria a adição de um pacote de informações ao padrão, inserindo novos atributos sem correspondência do padrão ET-EDGV 3.0 ao CityGML 2.0, ampliando assim a capacidade semântica as necessidades no âmbito nacional.

Analisando os principais pontos dos padrões, a ET-EDGV 3.0 se mostrou rica semanticamente para as necessidades nacionais através de seus atributos, mas restrita geometricamente às primitivas gráficas tridimensionais e, por outro lado, o padrão CityGML 2.0 se apresentou insuficiente semanticamente, em relação aos seus atributos, porém, tem ampla abrangência geométrica tridimensional. A partir destas pontuações, a solução seria a criação de um padrão brasileiro 3D com correspondência ao CityGML, que tomaria como base os pontos fortes de cada padrão e atenderia as necessidades apresentadas, portanto, este padrão teria a abrangência geométrica, baseando-se nas ISO 19107:2019 e ISO 19125:2004, e a riqueza semântica através de atributos e classes necessários para as características nacionais.

Tendo como base a pesquisa realizada e no desenvolvimento dos modelos, recomenda-se:

- Revisão do método proposto na pesquisa com o lançamento do padrão internacional CityGML 3.0;
- Implementação do suporte do padrão ET-EDGV 3.0 a geometrias verdadeiramente tridimensionais, com a troca de linguagem de modelagem;
- Criação de ferramentas de tradução entre modelos, facilitando o abastecimento de dados a plataformas de planejamento e gestão, e estudos ligados a representação de dados;
- Estudo da integração com outras formas de representação tridimensional como o BIM e o CIM (*City Information Modeling*).

REFERÊNCIAS

- ALEKSANDROV, M. et al. Systems Architecture for Management of BIM, 3D GIS and Sensors Data. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. IV-4/W9, p. 3–10, 2019.
- AMORIM, A. L. Discutindo City Information Modeling (CIM) e Conceitos Correlatos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 342–343, 2015.
- ANTONIO, N. D.; ANTUNES, A. F. B. Uma Abordagem Metodológica para Representar Objetos Territoriais 3D. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 8, n. 68, p. 1467–1484, 2016.
- BADENKO, V. et al. Comparison of Software for Airborne Laser Scanning Data Processing in Smart City Applications. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-5/W2, p. 9–13, 2019.
- BALK, D. L. *et al.* Determining Global Population Distribution: Methods, Applications and Data. **Advances in Parasitology**, v. 62, p. 119–156, 2006.
- BANDROVA, T. Designing of symbol system for 3D city maps. In: 20th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 2001, Beijing. **Anais...Beijing: 2001**. p. 1002-1010.
- BANDROVA, T. When 3D Models of Real Environment become 3D Maps? **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 509, n. 1, p. 3–5, 2020.
- BASTIAN, A. V. CityGML e Fotogrametria Digital na Documentação Arquitetônica: Potencialidades e Limitações. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. **Anais...Porto Alegre: ANTAC**, 2015.
- BELL, D. **Fundamentos básicos de UML: O diagrama de classes**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/rational/library/content/RationalEdge/sep04/bell/index.html>>. Acesso em: 11 set. 2018.
- BILJECKI, F. **Level of detail in 3D city models**. 2017. 353 f. Tese (Doutorado) - 3D Geoinformation Research Group, Delft University of Technology, Delft: 2017.
- BORGES, K. A. V.; DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: An object-oriented data model for geographic applications. **Geoinformatica**, v. 5, n. 3, p. 221–260, 2001.
- BORGES, K.; DAVIS, C. Modelagem de Dados Geográficos. In: **Introdução à Ciência da Geoinformação**. [s.l.: s.n.], 2004.
- BRASIL. **Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008**. Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 novembro 2008, p. 57.

CAMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 1995. 227 f. Tese (Doutorado) - Programa de Doutorado em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos: 1995.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Modelagem de Dados em Geoprocessamento. In: **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**. [s.l.: s.n.]. 1998. p. 35.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e Perspectivas de implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 2, p. 257–271, 2012.

CASANOVA, M. A. *et al.* **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005.

CLARK, J. H. Hierarchical Geometric Models for Visible Surface Algorithms. **Commun. ACM**, v. 19, n. 10, p. 547–554, 1976.

CONCAR. COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV 3.0)**, 2018.

CONCAR. COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0)**, 2017.

COSTA, C. A. A aplicação da Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para o suporte ao projeto de sistemas computacionais dentro de um modelo de referência. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 19–36, 2001.

COSTA, T. S. P. S. **Modelagem de cadastro 3D de edifícios com base na ISO 19.152 (LADM)**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife: 2016.

COSTA, T. S. P. S.; CARNEIRO, A. F. T.; SILVA, R. M. DA. Uso da ISO 19152 e do CityGML para a Modelagem do Cadastro 3D. In: 12º CONGRESSO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL, 2016, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: 2016.

D'ALGE, J. C. L.; GOODCHILD, M. F. Generalização Cartográfica, Representação do Conhecimento e SIG. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...**Salvador: 1996. p. 453-457.

DAMERI, R. P. Searching for Smart City definition: a comprehensive proposal. **International Journal of Computers & Technology**, v. 11, n. 5, p. 2544–2551, 2013.

DAVIS, C. A. J.; LAENDER, A. H. F. Extensões ao Modelo OMT-G para Produção de Esquemas Dinâmicos e de Apresentação. In: II WORKSHOP BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 2000, São Paulo. **Anais...**São Paulo: 2000. p. 29-36.

DELAZARI, L. S.; ERCOLIN FILHO, L.; SKROCH, A. L. S. D. UFPR CampusMap: a laboratory for a Smart City developments. **Abstracts of the ICA**, v. 1, p. 57, 2019.

EGUSQUIZA, A.; IZKARA, J. L.; GANDINI, A. Energy efficiency improvement in historic urban environments: From decision support systems to co-creation strategies. In: THE 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY IN HISTORIC BUILDINGS (EEHB2018), 2018, Visby. **Anais...**Visby: 2018. p. 576-584.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Fundamentals of Database Systems**. Nova Iorque: Pearson Education, 2004.

FOSSE, J. M. **Avaliação da Simbologia e da Orientação Geográfica para as Representações Cartográficas Tridimensionais**. 2008. 104 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

FOSSE, J. M.; CENTENO, J. A. S.; SLUTER, C. R. Avaliação de Variáveis Gráficas para a Representação Cartográfica Tridimensional. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 01, p. 81–90, 2006.

FOSSE, J. M.; CENTENO, J. A. S.; SLUTER, C. R. Proposta de Orientação Geográfica para as Representações Cartográficas Tridimensionais. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, 2., 2008, Recife. **Anais...**Recife: 2008.

FOSSE, J. M.; VEIGA, L. A. K. Representação cartográfica interativa tridimensional: Estudo da variável visual cor em ambiente VRML. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, n. 2, p. 249–260, 2006.

GRUEN, A. SMART cities: The need for spatial intelligence. **Geo-Spatial Information Science**, v. 16, n. 1, p. 3–6, 2013.

GSA. U. S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **Level of Detail**. Disponível em: <<https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/guidelines-for-bim-software/document-guides/level-of-detail>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

GUEDES, G. T. A. **Um metamodelo UML para a modelagem de requisitos em projetos de sistemas multiagentes**. 2012. 229 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

HAEBERLING, C. Symbolization in topographic 3D-maps: conceptual aspects for user-oriented design. In: 19th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 2., 1999, Ottawa. **Anais...Ottawa, Canadá: 1999. p. 1037-1044.**

HAEBERLING, C. 3D Map Presentation – A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects. In: ICA MOUNTAIN CARTOGRAPHY WORKSHOP “MOUNT HOOD”, 2002. **Anais...International Cartographic Association, 2002.** Disponível em: <http://www.mountaincartography.org/mt_hood/pdfs/haeberling2.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

HAEBERLING, C.; BÄR, H.; HURNI, L. Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory. **Cartographica**, v. 43, n. 3, p. 175–188, 2008.

HORA, A. C. **Mapeamento de Esquemas Conceituais Geográficos para Esquemas GML e Esquemas Físicos de Bancos de Dados Espaciais.** 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

INDE. INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS. **Apresentação.** Disponível em: <<https://inde.gov.br/Inde/Apresentacao>>. Acesso em: 4 set. 2020.

ISO/TC 211. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19107:2003 Geographic information — Spatial schema**International Organization for Standardization, 2003.

KRAAK, M. J. **Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques.** 1988. 175 f. Tese (Doutorado) - Delft University of Technology , Delft, 1988.

KUMAR, K. et al. Modelling Urban Noise in CityGML ADE: Case of the Netherlands. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. IV-4/W5, p. 73–81, 2017.

LIM, J.; TAUSCHER, H.; BILJECKI, F. Graph Transformation Rules for IFC-to-CityGML Attribute Conversion. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. IV-4/W8, p. 83–90, 2019.

MACHADO, A. A. **Compatibilização Semântica entre o Modelo de Dados do OpenStreetMap e a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV).** 2021. 193 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná , Curitiba, 2021.

MACHADO, A. A.; CAMBOIM, S. P. Mapeamento colaborativo como fonte de dados para o planejamento urbano: desafios e potencialidades. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019.

NOARDO, F. et al. Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019—Part II. **Transactions in GIS**, v. 25, n. 2, p. 842–868, 2021.

OASIS. ORGANIZATION FOR THE ADVANCEMENT OF STRUCTURED INFORMATION STANDARDS. **Extensible Address Language (xAL)**, 2002. Disponível em: <<https://www.oasis-open.org/committees/ciq/ciq.html#6>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

OGC. OPEN GEOESPACIAL CONSORTIUM. **OGC City Geography Language (CityGML) Encoding Standard**, 2012.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable**. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>>. Acesso em: 5 out. 2020.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701#:~:text=SegundoaONU%2Cactualmente55>>. Acesso em: 5 out. 2020.

PEGG, D. Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles. In: 24th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 2012, Santiago. **Anais...**Santiago, Chile: 2012.

PETROVIČ, D. Cartographic design in 3D maps. 21th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 2003, Durban. **Anais...**Durban, Africa do Sul: 2003. p. 1920-1926.

PETROVIČ, D.; MAŠERA, P. Analysis of user's response on 3d cartographic presentations. In: 7th MEETING OF THE ICA COMMISSION ON MOUNTAIN CARTOGRAPHY, 2004, Bohinj. **Anais...**Bohinj, Slovenia: 2004.

PNUD. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Conheça a Agenda 2030**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>>. Acesso em: 5 out. 2020.

ROCHE, S. Geographic Information Science I: Why does a smart city need to be spatially enabled? **Progress in Human Geography**, v. 38, n. 5, p. 703–711, 2014.

SCHMIDT, M. A. R. **Uso De Mapas 3D Para Navegação Virtual: Uma Aordagem Cognitiva**. 2012. 188 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Terra, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHMIDT, M. A. R.; DELAZARI, L. S. Avaliação de mapas topográficos 3D para navegação virtual. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 18, n. 4, p. 532–548, 2012.

SCHÜRR, A. Specification of graph translators with triple graph grammars. In: GRAPH-THEORETIC CONCEPTS IN COMPUTER SCIENCE, 1995, Berlin. **Anais...**Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1995. p. 151-163.

STOUFFS, R.; TAUSCHER, H.; BILJECKI, F. Achieving complete and near-lossless conversion from IFC to CityGML. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 9: 355, 2018.

SUN, J. et al. Utilizing BIM and GIS for Representation and Visualization of 3D Cadastre. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 11, 2019.

TERRIBILINI, A. Maps in transition: development of interactive vector-based topographic 3D-maps. In: 19th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 1999, Ottawa. **Anais...Ottawa, Canadá: 1999.** p. Session 22-B.

TERRIBILINI, A. **Entwicklung von Arbeitsabläufen zur automatischen Erstellung von interaktiven, vektorbasierten topographischen 3D-Karten.** 2001. 189 f. Tese (Doutorado) - Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, Zurique, 2001.

UML. UNIFIED MODELING LANGUAGE. **What is UML.** Disponível em: <<https://www.uml.org/what-is-uml.htm>>. Acesso em: 15 set. 2020.

WILLIAMSON, I. *et al.* Spacially Enabled Society. In: FIG WORKING WEEK 2011 - BRIDGING THE GAP BETWEEN CULTURES, 2011, Marrakech. **Anais...Marrakech: WW2011, 2011.**

YONOV, N.; BANDROVA, T. 3D Maps – Cartographical Aspects. In: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARTOGRAPHY AND GIS, 1., 2018, Sozopol. **Anais...Sozopol, Bulgaria: 2018.** p. 452-463.