



Modelagem de cadastro 3d de edifícios

3D Cadastre for Buildings

*Talita Stael Pimenta da Silva Costa*¹
*Andrea Flávia Tenório Carneiro*²

Recebido em janeiro de 2017.
Aprovado em novembro de 2018.

RESUMO

O cadastro territorial é um instrumento eficiente para descrever as relações entre pessoas e terra, através da identificação de direitos, restrições e responsabilidades. Com o crescimento populacional dos grandes centros urbanos, observa-se uma intensa verticalização das cidades e o conseqüente aumento da complexidade da administração territorial. Assim, emergem as possibilidades e necessidades de utilização do Cadastro 3D, visando documentar questões relacionadas aos direitos sobre os bens imóveis, inclusive sobre a ocupação dos espaços subterrâneo e aéreo (como por exemplo, os edifícios). A necessidade da definição de conceitos e terminologias referentes à administração territorial levou à formulação e publicação da ISO 19.152 - *Land Administration Domain Model* (LADM), que também prevê a modelagem do cadastro tridimensional. Em paralelo, a OGC (*Open Geospatial Consortium*), adotou o CityGML, que é baseado em uma série de padrões da ISO 191xx, como um padrão oficial para produção de modelos urbanos, voltado ao armazenamento, visualização e interoperabilidade destas informações. Com base em metodologias desenvolvidas em outros países, este trabalho tem como objetivo apresentar uma contribuição à implementação do cadastro 3D no Brasil, através da proposta de uma metodologia para a modelagem de edifícios de apartamentos. O modelo foi desenvolvido atendendo aos padrões da ISO 19.152:2012 com integração ao CityGML. Para testar a viabilidade da proposta, foi realizado um experimento utilizando dados do município de Recife-PE, que teve como resultado um modelo 3D para edifícios (apartamentos), desenvolvido a partir da integração de padrões estabelecidos pela ISO 19.152:2012 e pelo CityGML.

PALAVRAS-CHAVE: Cadastro 3D. LADM. CityGML. Edifícios

¹Mestra em Ciências geodésicas e tecnologia da geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, Brasil. E-mail: talita.stael@gmail.com

²Professora Associada do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Brasil. E-mail: aftc@ufpe.br

ABSTRACT

Cadastré is an efficient tool to describe the relationships between people and land, by identifying the rights, restrictions and responsibilities. With the population growth of the large urban centers, there is an intense verticalization of the cities and the consequent increase of the complexity of the land administration. Thus, the possibilities and needs of using 3D Cadastre emerge, aiming at documenting issues related to real estate rights, including on the occupation of underground and aerial spaces (such as buildings). The need to define concepts and terminologies related to land administration led to the formulation and publication of ISO 19152 - Land Administration Domain Model (LADM), which also provides for the modeling of the three-dimensional cadastre. In parallel, OGC (Open Geospatial Consortium) adopted CityGML, which is based on a series of ISO 191xx standards, as an official standard for the production of urban models, aimed at the storage, visualization and interoperability of this information. Based on methodologies developed in other countries, this work aims to present a contribution to the implementation of the 3D cadastre in Brazil, through the proposal of a methodology for the modeling of apartment buildings. The model was developed according to ISO 19.152: 2012 standards with integration with CityGML. To test the feasibility of the proposal, an experiment was carried out using data from Recife-PE, which resulted in a 3D model for buildings (apartments), developed from the integration of standards established by ISO 19.152: 2012 and CityGML.

Keywords: 3D Cadastre. LADM. CityGML. Building.

* * *

Introdução

Os sistemas de administração territorial baseiam-se na tradição de representação 2D de limites de propriedade, muitas vezes correlacionados com uma variedade de outras informações de interesse dos produtores e usuários. Contudo, esses sistemas têm mostrado limitações para lidar com direitos, restrições e responsabilidades cada vez mais complexos, que ocorrem nos grandes centros urbanos e regiões metropolitanas.

Para Paixão et al. (2012) apud Stoter (2004), o cadastro 3D surge com a necessidade de acompanhamento de questões jurídicas relacionadas aos valores da propriedade e restrições das mesmas com respeito ao uso subterrâneo (Ex.: túneis, rede de esgoto, água, eletricidade, cabos de TV e estacionamento) e ao uso aéreo, como a construção de edifícios acima da

malha viária.

No Brasil, o art. 1.229 do Código Civil determina que a “propriedade do solo abrange a do espaço aéreo e subsolo correspondentes, em altura e profundidade úteis ao seu exercício, não podendo o proprietário opor-se a atividades que sejam realizadas, por terceiros, a uma altura ou profundidade tais, que não tenha ele interesse legítimo em impedi-las”. No entanto, existem outros direitos reais, como o direito de superfície e o direito de laje, que possibilitam a transmissão a terceiros, de direitos sobre os espaços aéreos e subterrâneos.

No objeto territorial Edifício, por exemplo, coexistem sobre o mesmo espaço da superfície, situações jurídicas que devem ser individualizadas (propriedade de apartamentos, lojas, etc.), e que podem ser melhor descritas e representadas no espaço tridimensional. Assim, emergem as possibilidades e necessidades de utilização do Cadastro 3D.

A ISO 19.152 do LADM (*Land Administration Domain Model*) prevê a modelagem para o Cadastro 3D. Além disso, a norma permite ser integrada a outros modelos da família 19.xxx, como o CityGML. Além de possibilitar a representação gráfica de texturas e materiais na superfície dos objetos, o CityGML pode descrever muitas características geográficas. De acordo com Costa (2016, p. 9), O LADM e o CityGML sendo compatíveis, torna possível a integração desses modelos.

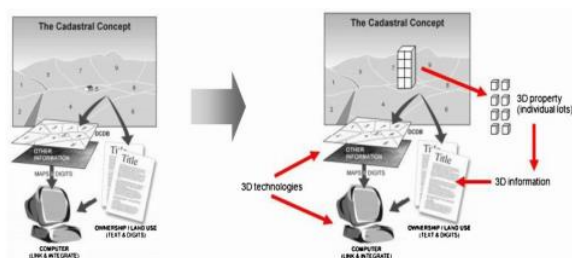
Com base em metodologias desenvolvidas em outros países, este trabalho tem como objetivo apresentar uma contribuição à implementação do cadastro 3D no Brasil, através da proposta de uma metodologia para a modelagem de edifícios de apartamentos, utilizando os padrões da ISO 19.152 integrados ao CityGML.

1 Cadastro 3D

De acordo com Souza et al. (2011) “do ponto de vista conceitual, um dos fundamentos da administração territorial bidimensional é que não pode haver lacunas ou sobreposições na parcela em que os direitos se baseiam, ou seja, uma fração da superfície plana, que implica em volumes da propriedade definido pelas colunas espaço acima e abaixo da parcela de terra de superfície.” Para Stoter (2004) apud Souza et. al. (2011), o mesmo fundamento (uma fração do espaço sem sobreposições ou lacunas) é também a base do pensamento conceitual em relação ao gerenciamento cadastral 3D.

A Figura 1 mostra que o conceito de cadastro compreende as partes individuais da informação, referente à propriedade territorial e sua descrição através do uso de tecnologias de ligação, integração e visualização das mesmas. Ho et al. (2013), destacam que o Cadastro 3D abrange principalmente a potencial evolução das informações necessárias para o processo de registros verticalmente diferenciados de limites da parcela, incluindo uma evolução das tecnologias necessárias para oferecer suporte à representação física de informações cadastrais em 3D.

Figura 1 – O conceito cadastral e sua adaptação ao conceito de cadastro 3D



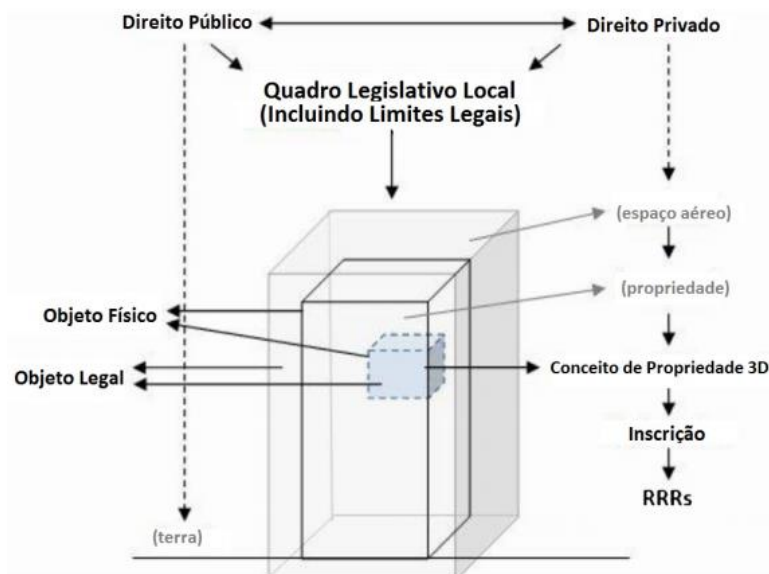
Fonte: Ho et al. (2013).

O cadastro é fundamentalmente um construto cognitivo utilizado para administrar e processar informações sobre direitos, restrições e responsabilidades que incidem sobre uma parcela, ou uma porção do

território (em inglês *Right, Restriction e Responsibilities*). Este processo depende do uso de pontos conceituais e linhas para formar os limites de terrenos e imóveis (parcelas de terra).

A Figura 2 exemplifica as questões legais relevantes no cadastro 3D, para o caso de um edifício.

Figura 2 – Representação gráfica das questões legais relevantes para o Cadastro 3D



Fonte: Adaptado de Ho et al. (2013)

De acordo com Van Der Molen (2002), seja qual for o caso, deve-se reconhecer que o cadastro visa registrar os direitos e interesses sobre a terra, porque a lei reconhece estes direitos e interesses como uma legítima relação entre o requerente e a terra.

Portanto, os cadastros só são significativos se operam dentro de um contexto institucional, fornecendo regras para a definição:

- a) de direitos de propriedade,
- b) de mecanismos para aquisição, transferência, etc.,
- c) de tarefas e responsabilidades da administração pública quanto ao direito de registrar.

Nesse contexto, observa-se que, apesar dos códigos civis, notadamente o do Brasil, contarem com a regulamentação da propriedade de forma ampla, ou seja, englobando espaço aéreo e subsolo, o direito administrativo e a administração pública não têm percebido e atentado para a implantação do Cadastro 3D, através das medições dessas parcelas.

1.1 Cadastro 3D no Brasil

Apenas o cadastro e sua representação bidimensional não são suficientes para englobar todas as situações existentes no mundo real, as quais tornam-se cada vez mais frequentes, com a escassez do espaço geográfico urbano. Assim, emergem as possibilidades de utilização do Cadastro 3D como fator determinante para um melhor gerenciamento espacial, considerando também, os aspectos legais, técnicos e administrativos para a construção do cadastro territorial.

A FIG - *International Federation of Surveyors* em seu Modelo de Cadastro 2014 (FIG,1995), introduziu o conceito de objeto territorial, que pode ser amparado por uma legislação (OTL – Objeto Territorial Legal) ou não (OT – Objeto Territorial).

De acordo com Carneiro et. al. (2012), no Brasil, os OTL são representados por:

- Terrenos de Marinha: Art. 51, §14, da Lei de 15/11/1831 e Artigo 13 do Código de Águas – Decreto no 24.643/1934.
- Terrenos Reservados: artigo 14 do Código de Águas e artigo 31 do Código de Águas combinado com o inciso III do artigo 20 da Constituição Federal.
- Servidão: artigos 1.378 a 1.389 do Código Civil
- Reserva Legal: Lei no 4.771/1965, artigo 1o, §2o, III e artigo 16, §2o.
- Área de Preservação Permanente: artigo 1o, §2o, II e artigo 3o, §1o, do

Código Florestal.

- Direitos de Mineração: Artigo 176 da Constituição Federal; Decreto-Lei no 227, de 1967 do Código de Minas;
- Restrições Aeronáuticas: Código Brasileiro de Aeronáutica, Lei no 7.565, de 1986, artigos 43 a 46.
- Restrições Urbanísticas: Artigo 182 da Constituição Federal; Lei no 10.257/2001.

1.2 Cadastro 3D de apartamentos (Edifício)

Ao se referir a um modelo cadastral 3D para apartamentos, Pouliot & Vasseur (2014) afirmam que a terceira dimensão de dados espaciais pode ser expressa como a elevação vertical (ortométrica ou altitude elipsoidal) ou coordenadas Z dos limites, altura do edifício ou volume das unidades legais em 3D. Vários instrumentos são usados atualmente para adquirir esses dados espaciais em 3D, incluindo GNSS / GPS, estação total, distanciômetros (telêmetro a laser), LiDAR terrestre (scanner a laser).

Para Carneiro et. al (2012), o modelo mais simples e que mais se adequa ao caso brasileiro atualmente é um Cadastro 2D com informações 3D associadas, especialmente por não exigir alterações significativas na estrutura administrativa e legal. O cadastro de apartamentos é um exemplo desse modelo, já que cada unidade imobiliária é individualizada mediante informações meramente descritivas.

Nesse contexto, percebe-se a importância da elaboração de um modelo cadastral que englobe todas as exigências envolvidas, desde o cadastro mais simples (2D) até um de mais complexidade, como no caso da modelagem de dados 3D para Edifícios, contemplando sua menor unidade espacial, os apartamentos (COSTA et.a al,2016).

No Brasil, a partir dos diversos sistemas cadastrais existentes para

cada município, o cadastro de apartamentos é tratado apenas em sua forma bidimensional (COSTA, 2016). A Figura 3 ilustra a situação de um objeto bidimensional (lote) armazenando informações para mais de um registro (proprietário por apartamento).

Figura 3 – Cadastro de apartamentos no Brasil



Fonte: Costa (2016, p.39)

2 Modelagem do Cadastro 3D de acordo com a ISO 19.152

De acordo com Santos (2012), um dos problemas no domínio de conhecimento em administração territorial é a falta de um conjunto padronizado de conceitos e terminologias. Por este motivo, a *International Organization for Standardization* (ISO) formulou e publicou a ISO 19.152 – *Land Administration Domain Model - LADM* (Modelo de Domínio da Administração Territorial). Desenvolvida pela FIG em parceria com outras instituições, a norma ISO 19152 estabelece a relação entre as pessoas e as unidades territoriais. Trata-se de um padrão descritivo, não prescritivo, cujo foco é a identificação dos direitos, responsabilidades e restrições que afetam a terra (ou água) e seus componentes geoespaciais relacionados.

O LADM é um modelo abstrato e conceitual que apresenta as entidades básicas com os seus respectivos atributos para unidades territoriais, no entanto podem ser adicionadas ou removidas outras

entidades de acordo com a realidade de cada região. Para tanto, o mesmo apresenta quatro classes principais: LA_Party, LA_RRR, LA_BAUnit e LA_SpatialUnit.

Para van Oosterom et al. (2011), o *Spatial Unit Package* é bastante relevante, englobando as classes LA_SpatialUnit, LA_SpatialUnitGroup, LA_Level, LA_LegalSpaceNetwork, LA_LegalSpaceBuildingUnit e LA_RequiredRelationshipSpatialUnit. Além disso, relaciona-se de forma direta com os demais pacotes do LADM (Figura 12). A *Spatial Unit* representa um ponto (ou multiponto), uma linha (ou multilinha) que representa uma área individual (ou múltiplas áreas) da terra ou água, mais especificamente, um volume individual (ou múltiplos volumes).

Assim, a modelagem do objeto territorial 3D para o Cadastro deve ocorrer em especial na classe LA_SpatialUnit, para a representação dos objetos em três dimensões.

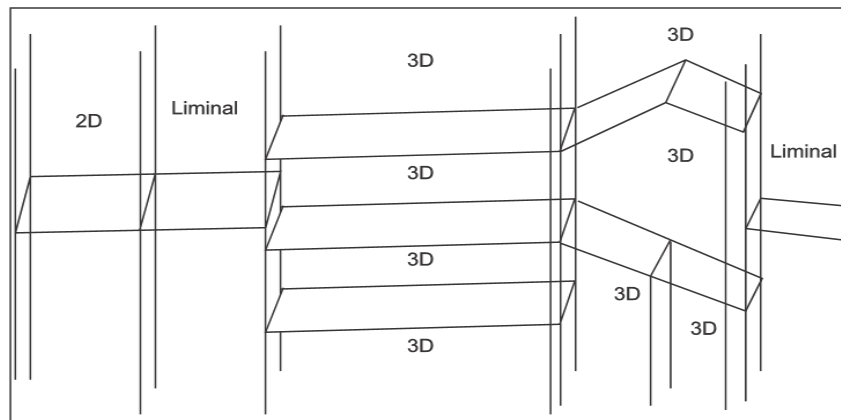
De acordo com a ISO (2012), as representações de unidades espaciais 2D e 3D na norma LADM ocorrem através das classes BoundaryFaceString e BoundaryFace. Muitos países utilizam a interpretação de representação 2D como um volume prismático 3D, sem limite superior ou inferior. Nesse caso, as representações 2D e 3D são unificadas e representadas pela classe BoundaryFaceString, usando o GM_MultiCurve para armazenamento. Contudo, para a representação real do objeto 3D (ou seja, não considerando um objeto 2D como um prisma), deve ser utilizada a classe boundary faces, usando o tipo GM_Surface para o armazenamento.

A norma também ressalta que as unidades espaciais estão em um limiar entre objetos 2D e 3D. Sendo assim, essas representações são uma combinação entre a *Boundary face string* e *Boundary face* (Fig. 4).

O LADM também pode ser visto como um modelo de meta para administração territorial e tem conexões importantes com outras normas, uma vez que as unidades administrativas no LADM são espaços legais que

podem ter um relacionamento com características físicas mantidas em outros modelos de domínio como, por exemplo, no caso de unidades de apartamentos (RÖNSDORF, 2014). Dessa forma, a integração de diferentes modelos assegura a coerência entre registros legais e físicos.

Figura 4 – Vista lateral mostrando integração da Boundaryface string e Boundary face para definir volumes 3D limitados e ilimitados.



Fonte: ISO (2012)

2.1 CityGML

O City Geography Markup Language - CityGML é um conceito inovador para a modelagem de cidades 3D e o uso de terra, que está rapidamente sendo adotado a nível internacional (KOLBE & GRÖGER, 2003).

Este formato é baseado em uma série de padrões da ISO 191xx e, além de possibilitar a representação gráfica de texturas e materiais na superfície dos objetos, o CityGML pode descrever características geográficas a partir de diversos módulos temáticos, como Vegetação, Aquífero, Transporte, Cadastro 3D, Modelo Digital de Elevação (MDT) e sites (incluindo construções, túneis e pontes).

Além destes eixos temáticos, o CityGML possui o CityGML Core (núcleo da aplicação), CityObjectGroups (grupos de objetos urbanos),

Generics (objetos em geral), Appearance (aparência/aspecto), nos quais são definidas as estruturas que são relevantes e que podem ser aplicadas a todos os módulos temáticos.

No CityGML as informações armazenadas são definidas de acordo com o Level of Details (LoD) do objeto descrito. O LoD0 refere-se a modelagem bidimensional dos objetos territoriais na superfície da terra. A representação tridimensional, por sua vez, ocorre a partir do LoD1, que pode ser considerado suficiente para o modelo de cadastro territorial 3D. A partir do LoD2 ao LoD4 o nível de detalhamento do objeto representado fica cada vez maior, tendo mais aplicações em outras áreas, como arquitetura (Figura 5).

Figura 5 – Level of Details (LoD) do CityGML.



Fonte: Biljecki et. al. (2014)

O CityGML é suportado por um grande número de produtos de softwares e provedores de dados em todo o mundo, e define uma representação 3D semanticamente rica de recursos geoespaciais para áreas urbanas (RÖNSDORF, 2014). Neste contexto, dentre os softwares, pode-se destacar o ArcGIS que através da sua extensão *Data Interoperability* consegue importar e exportar arquivos do CityGML, usando o 3DCIM (*ArcGIS 3D City Information Model*).

2.2. CityGML e LADM

Lemmen et. al. (2015) destacam o LADM como um padrão internacional para o domínio da administração da terra. Seu intuito é estimular o desenvolvimento de aplicações de software e acelerar a implementação de sistemas de administração de terras que abrangem componentes básicos relacionados com informações territoriais referentes a superfícies d'água, e aos elementos situados acima e abaixo da superfície da terra.

Rönsdorf et al (2012) destacam que o LADM e o CityGML são compatíveis na ISO 19.107, que garante uma sobreposição dos tipos permitidos de geometria. Contudo, os autores afirmam também que a especificação da ISO 19.152 torna claro que o LADM é um modelo conceitual que fornece uma linguagem formal para descrever a administração territorial sobre suas partes, unidades administrativas e espaciais, bem como fontes e representações.

Por outro lado, o CityGML é um codificador de dados feito para garantir a sua interoperabilidade. Assim, é baseado num modelo conceitual que é descrito no padrão de dados, mas é especificado apenas no nível de codificação. Com isso, na classe de feição modelada na especificação do CityGML, pode ser inferida uma escolha para tipos de objeto explicitamente com definição de semântica (tais como prédios, estradas, pontes, etc.). Assim, evidencia-se um contraste com o LADM, que não é um esquema de aplicação em seu próprio direito.

No modelo de classe, o LADM utiliza-se de estereótipos << modelo >> para fins de orientação referente às características físicas de cada classe. Assim, são mantidos em outros conjuntos de dados (modelos), como o CityGML, a fim de acomodar uma melhor integração. Esse estereótipo define classes em um nível abstrato, que são também definidas em outros

modelos, como no CityGML. Como exemplo, a LA_LegalSpaceBuildingUnit (LADM) refere-se a um ExtPhysicalBuildingUnit (CityGML) e o LA_LegalSpaceUtilityNetwork (LADM) refere-se à classe ExtPhysicalUtilityNetwork (CityGML).

3. Modelagem de Cadastro 3D de Edifícios

A partir dos estudos realizados, a pesquisa buscou contribuir com as propostas para a modelagem de um cadastro 3D para o Brasil, através do desenvolvimento de uma metodologia para a modelagem de edifícios de apartamentos.

Assim, foi desenvolvida uma modelagem LADM 3D do objeto territorial legal Edifício (Building) que é formado por um conjunto de unidades juridicamente autônomas. De bastante relevância no cadastro territorial urbano, os edifícios são comumente representados na forma bidimensional nos sistemas cadastrais, enquanto que sua natureza é tridimensional.

Para o estudo da modelagem do Cadastro 3D de edifícios no Brasil, buscou-se escolher um município com as seguintes características: a) onde o cadastro territorial já estivesse aplicado e consolidado; b) que possuísse um grande volume predial (grande centro urbano); e c) que possuísse uma base cartográfica atualizada com informações tridimensionais.

Levando em consideração os critérios de escolha, o município do Recife, capital do estado de Pernambuco, foi escolhido por atender aos requisitos supracitados. Sendo assim, foi desenvolvida a modelagem de dados em LADM, do modelo no CityGML, e, por fim, do modelo integrado do LADM 3D com o CityGML, utilizando os dados fornecidos pelas secretarias de finanças e de planejamento da Prefeitura Municipal do Recife.

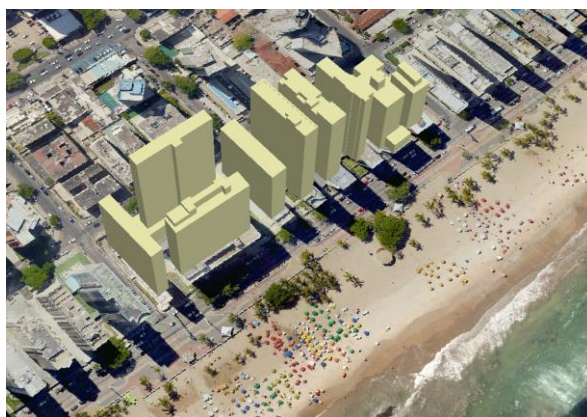
3.1 Área de estudo – Bairro de Boa Viagem, Recife-PE

A Prefeitura de Recife contratou, em 2014, o levantamento da cobertura aerofotogramétrica e perfilamento laser aerotransportado, como ponto de partida para que o município possa planejar e implantar o cadastro tridimensional.

De acordo com a Engefoto (2014), o levantamento cobriu uma área de 55 Km², para a obtenção de polígonos 3D, incluindo o bairro de Boa Viagem.

Na Figura 6 (gerada no ArcScene®), é possível observar a visualização gráfica tridimensional de uma das quadras do bairro de Boa Viagem, obtida a partir dos dados de volumetria cedidos pela prefeitura do Recife.

Figura 6 – Quadra do Bairro de Boa Viagem representada graficamente em 3D



Fonte: Costa (2016).

A quadra em estudo (Figura 6) contém dez edifícios, que terão algumas de suas informações cadastrais usadas para validar a modelagem de dados 3D, objeto desta pesquisa. Os polígonos 2D e dados de volumetria foram gerados pela Engefoto (2014).

3.2 Modelo de dados

A modelagem de dados 3D tem por objetivo servir de planejamento para a implementação de um sistema de administração territorial que atenda às necessidades do cadastro urbano 3D.

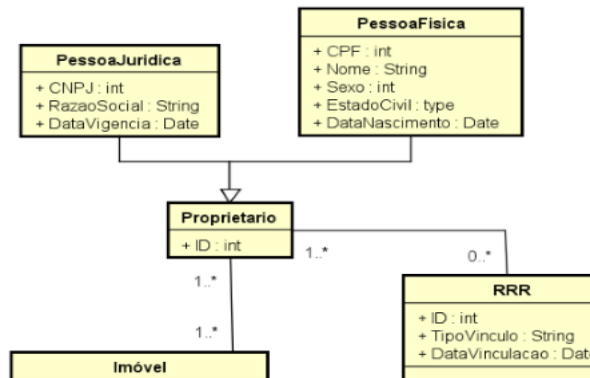
O modelo de dados descreve a estrutura de seus objetos e os relacionamentos existentes entre os mesmos em um determinado instante de tempo, além dos atributos e operações que caracterizam cada classe do objeto (ESPÍNDOLA, 2016).

Na pesquisa, os modelos de dados foram feitos em UML (*Unified Modeling Language*), a partir de diagramas de classes, como determina a norma ISO 19.152. Assim, foram criados quatro modelos de dados, tomando como base as informações cedidas pela Prefeitura Municipal do Recife-PE e os padrões internacionais LADM e CityGML, de acordo com a FIG (1995) e OGC (2012), respectivamente..

a) Modelo de Análise

O modelo de análise contém doze classes. São elas: Proprietario; PessoaFisica; PessoaJurídica; RRR; Imovel; Quadra; Lote; Apartamento; Tributos; IPTU; TLP; e CIP. A classe Proprietario (Figura 7) foi generalizada, pois as informações coletadas não possuíam informações suficientes para gerar todas as regras de negócio no modelo. A mesma possui ligação com as classes “Imóvel” e “RRR”.

Figura 7 - Recorte na modelagem: Classe “Proprietario”



Fonte: Costa (2016).

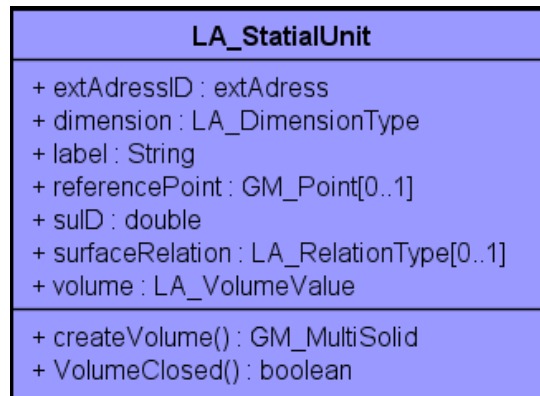
Além das classes, também foram criadas algumas CodeLists <<exemplo>>, referentes ao tipo (*type*) de alguns atributos. É o caso do atributo TipodeEmpreendimento (definindo o tipo Casa, Loja, Apartamento, Mocambo, etc.).

b) Modelo de LADM 3D

Após a elaboração do modelo de análise, descrito no capítulo anterior, criou-se um Modelo baseado na norma ISO 19.152, voltado ao cadastro 3D. Para melhor entendimento do modelo, foram atribuídas cores distintas. Assim, o verde representa a classe LA_Party, o amarelo para LA_RRR, o azul para a classe SpatialUnit e o vermelho as classes referentes ao município do Recife (recebendo a nomenclatura inicial REC).

A norma do LADM prevê algumas classes e atributos fundamentais para um Modelo de dados voltado ao Cadastro 3D. Dentre eles, pode-se destacar a utilização do atributo Volume, ao invés do atributo Area, utilizado no Cadastro 2D (Figura 8).

Figura 8 – Atributo Volume na classe LA_Spatial Unit



Fonte: Costa (2016).

Outra característica importante na modelagem do cadastro 3D são as classes `BoundaryFaceString` e `BoundaryFace` contempladas neste modelo, com o atributo `geometry` sendo `GM_MultiCurve` e `GM_Surface`, respectivamente.

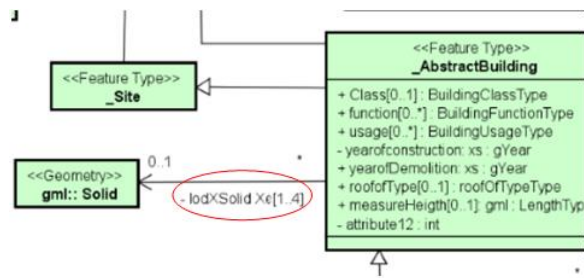
Além destes, foi necessário incluir outros atributos próprios do sistema cadastral do Recife no Modelo LADM 3D, através das classes: `REC_Party`; `REC_BAUnit`; `REC_Imposto`; `REC_SpatialUnit`; `REC_LegalSpaceBuildingUnit` e da `REC_LegalEvaluationBuildingUnit`.

c) Modelo CityGML

A modelagem foi toda realizada utilizando o pacote temático `AbstractBuilding`, uma vez que o objeto territorial de interesse do trabalho é o Edifício. Nesse modelo, apenas a classe `REC_Building` necessitou ser agregada, contendo atributos particulares da cidade.

No modelo, a partir das ligações entre as classes `_AbstractBuilding/Solid` e `_AbstractBuilding/MultiCurve` há uma referência aos LoD. Ou seja, um Edifício pode variar do LoD1 ao LoD 4 (Fig. 9). O LoD 0 por sua vez não poderá ser utilizado, pois se refere a um objeto bidimensional.

Figura 9 – Recorte na modelagem: Variação dos LoDs

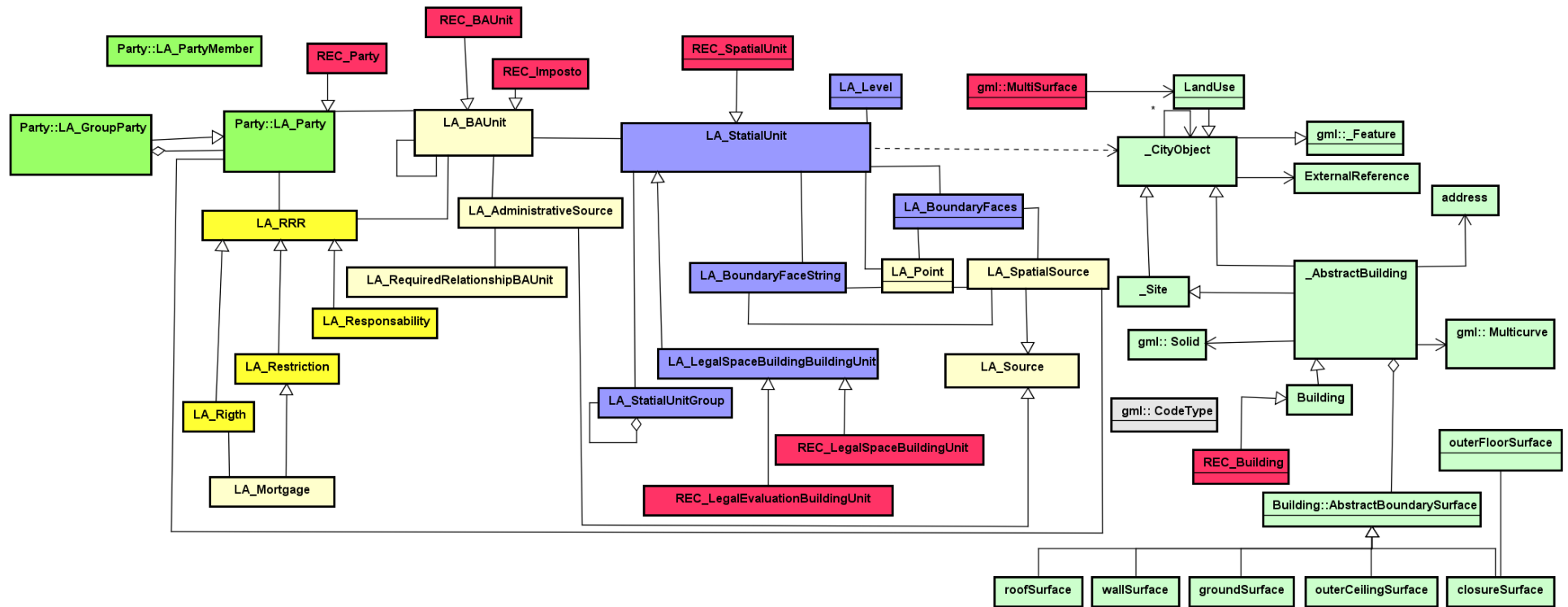


Fonte: Costa (2016).

d) Modelo Integrado LADM 3D – CityGML

O modelo final integra os modelos gerados anteriormente (Fig.10). Esta integração do modelo CityGML ocorreu a partir das classes REC_BAUnit, REC_LegalSpaceBuildingUnit e com a LA_SpatialUnit do LADM.

Figura 10 – Modelo final simplificado



Fonte: Costa (2016).

3.3 Análise dos resultados

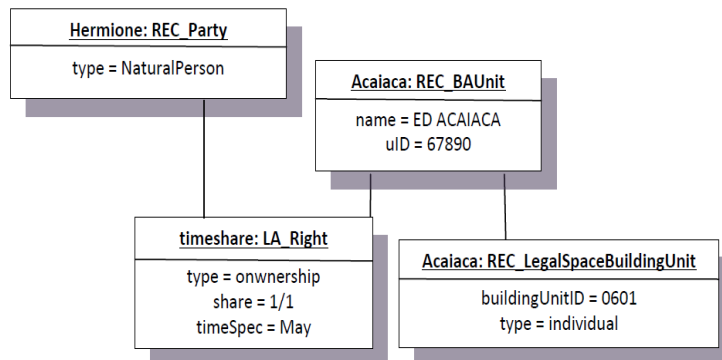
A pesquisa propôs uma metodologia de modelagem de dados para o cadastro 3D usando o LADM. Para tanto, foi necessário: definir um objeto territorial legal, bem como seus aspectos envolvidos; restringir uma área aplicável do modelo; coletar os dados (cartográficos, legais, cadastrais e outros); gerar os modelos de dados (Análise, LADM, CityGML e LADM-CityGML); e validar os modelos.

A validação do modelo final LADM 3D - CityGML deu-se a partir da análise das classes criadas, respeitando a herança dos pacotes da ISO19152: *Party Package* (Pacote da Parte, ou a Pessoa que tem algum direito sobre a parcela), *Administrative Package* (Pacote Administrativo) e *Spatial Package* (Pacote Espacial).

a) *Party Package*

A Figura 11 apresenta a situação da parte “Hermione” (Hermione: REC_Party) e sua relação de direito (ownership: REC_Right) com o imóvel “Acaiaca” (Acaiaca: REC_BAUnit). Através da classe Acaiaca: REC_LegalSpaceBuildingUnit, apresenta-se o direito legal de uso da parcela (apartamento/sala) do tipo individual. Nesta classe o atributo buildingUnitID mostra o código da parcela, de propriedade da parte "Hermione".

Figura 11 – Estudo de caso REC_Party



Fonte: Costa (2016).

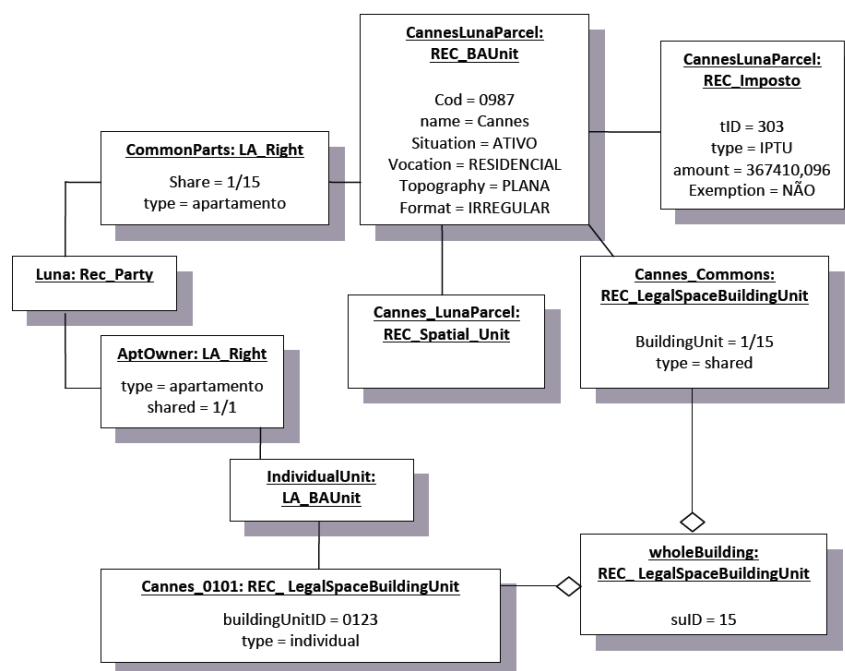
b) Administrative Package

O pacote administrativo engloba as classes relacionadas à parcela (BA_Unit) e aos direitos, restrições e responsabilidades (RRRs).

Com isso, no modelo foram criadas duas classes importantes para atender às necessidades do cadastro do município. São elas: REC_BAUnit e REC_Imposto. Estas classes relacionam-se, por generalização, com a classe LA_BAUnit do LADM. Ou seja, a classe-mãe (LA_BAUnit) herdará todos os atributos modelados das classes-filhas “REC_”.

Para a classe relacionada aos RRRs, foi mantida toda a regra de negócio estabelecida na ISO19152, considerada satisfatória para este trabalho. Nesse estudo de caso, há uma demonstração pelo diagrama que envolve a propriedade do apartamento de “Luna”, descrita logo após o diagrama em sequência (Figura 12), no qual é apresentada a parcela do imóvel na classe REC_BAUnit.

Figura 12 – Estudo de caso REC_BAUnit e REC_RRR



Fonte: Costa (2016).

Na classe AptOwner:LA_Right (Figura 12), o atributo type define o tipo da parcela, neste caso: apartamento. Para tanto, mais duas outras classes são associadas à Parte como sendo do tipo individual e qual o apartamento que pertence legalmente a Luna (Cannes_0101: REC_LegalSpaceBuildingUnit): apartamento 101).

A classe CommonParts:LA_Right refere-se a direito compartilhado (share = 1/15) por Luna com os demais proprietários do prédio.

As classes que definem as características do apartamento e mantém o relacionamento com as demais classes do modelo são: REC_BAUnit e a REC_Imposto. Assim, estas também são apresentadas no diagrama de acordo com as informações cedidas pela prefeitura do Recife para o apartamento de Luna.

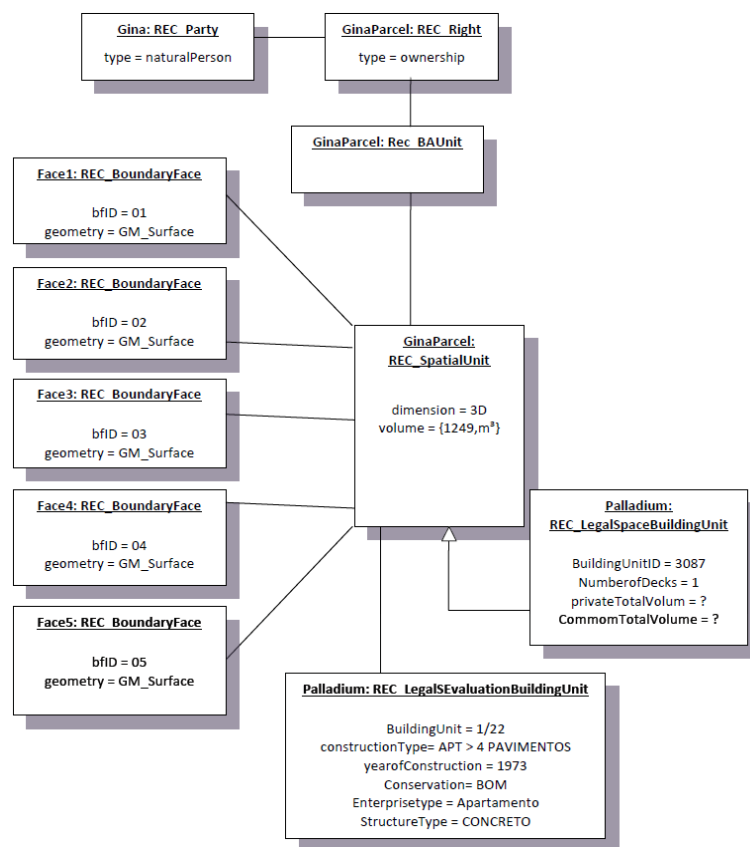
Para a classe REC_Imposto, foi necessário escolher um tipo de imposto. Nesse caso, optou-se pelo IPTU. Dentre os atributos existentes nesta classe,

o *Amount* representa o valor do imposto a ser cobrado. Porém, dentre as informações cedidas pela PMR, não havia o valor do IPTU cobrado, apenas o valor venal do imóvel. Assim, o valor do IPTU foi calculado tomando como base o Código Tributário do Município do Recife (RECIFE, 1991).

c) Spatial Package

O *Spatial Package* tem como classe principal o REC_SpatialUnit, no qual são descritas as características espaciais do imóvel. Para o caso de estudo deste pacote, aparece representado no diagrama o imóvel de “Gina”, que possui direito de propriedade sobre o mesmo (Figura 13).

Figura 13 – Estudo de caso REC_SpatialUnit



Fonte: Costa (2016).

Conforme explicado ao longo deste artigo, para o Cadastro 3D é

necessário representar os objetos da superfície da terra em três dimensões. Sendo assim, a `GinaParcel: REC_SpatialUnit` apresenta o atributo *dimension* = 3D e volume do imóvel (ao invés do atributo *Area*, referente ao Cadastro 2D).

A representação real do objeto 3D se dá através das classes `REC_BoundaryFace`, associada à classe principal. Neste caso apresentado, foram criadas cinco classes, representando cada face do objeto: `Face1: REC_BoundaryFace`; `Face2: REC_BoundaryFace`; `Face3: REC_BoundaryFace`; `Face4: REC_BoundaryFace`; e `Face5: REC_BoundaryFace`. Todas contêm o atributo de identificação e a geometria, que de acordo com o estudo realizado no capítulo 2.3, deve ser o `GM_Surface`. As classes `Palladium:REC_LegalSpaceBuildingUnit` e `Palladium: REC_LegalEvaluationBuildingUnit` se relacionam com a classe `REC_SpatialUnit` por generalização.

A `Palladium:REC_LegalSpaceBuildingUnit` apresenta quatro atributos. Os dois primeiros são do identificador e da quantidade de pisos do imóvel. Os outros atributos referem-se ao volume comum e ao volume privado do imóvel (no prédio). Nesse caso, o diagrama não fornece o volume, visto que no sistema cadastral da PMR não há essa distinção.

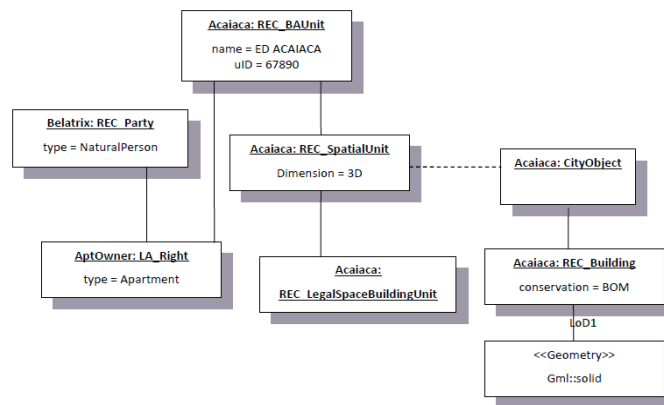
Já a classe `Palladium:REC_LegalEvaluationBuildingUnit` mostra as informações de tipo de construção, ano de construção, estado de conservação, tipo de empreendimento (imóvel) e tipo de estrutura, através dos atributos `constructionType`, `YearofConstruction`, `Conservation`, `Enterprisetype` e `StructureType`, respectivamente. Nessa classe, também deveria ser apresentada a autorização dada por órgão municipal para a permissão de ocupação do imóvel (Habite-se), porém esta informação não foi cedida pela prefeitura do município.

d) CityGML (`REC_Building`)

1200

A representação espacial proposta pela pesquisa é mostrada a partir da modelagem utilizando o padrão CityGML e sua integração com o LADM. Para tanto, esta subseção, mostra o diagrama simplificado, onde a parcela 3D do Edifício Acaiaca (associação Acaiaca: REC_BAUnit e Acaiaca: REC_SpatialUnit) relacionam-se com a classe CityObject (Figura 14).

Figura 14 – Estudo de caso REC_Building



Fonte: Costa (2016).

Seguindo a mesma tendência de otimização do modelo, também nesse caso de estudo o objeto do tipo sólido, na classe Acaiaca: REC_Building. Este objeto pode, portanto, variar do LoD1 ao LoD4 e no diagrama, aparece simulado como LoD1, uma vez que é suficiente para o Cadastro 3D.

5. CONCLUSÕES

O estudo teórico realizado durante o desenvolvimento desta pesquisa mostrou que pesquisadores têm se dedicado a verificar a viabilidade de adaptação dos seus modelos cadastrais, para inclusão da dimensão 3D, utilizando os padrões definidos pela ISO 19.152. Além disso, trabalhos recentes analisam a possibilidade de sua integração ao modelo CityGML, que prevê a implementação de um padrão de dados para a manipulação das informações 3D em diversos sistemas, por ser interoperável.

A partir desse pressuposto, este estudo buscou apresentar uma visão geral das possibilidades técnicas, mais especificamente, da exploração da integração do CityGML com os padrões do LADM, com o intuito de contribuir com os estudos referentes à modelagem do cadastro 3D no Brasil.

Os modelos de Edifícios, integrados em LADM 3D e CityGML para o município de Recife, apresentaram os atributos contidos no cadastro do município, de acordo com os pacotes *Party*, *Administrative* e *Spatial Unit* do LADM e o módulo temático *_AbstractBuilding* do CityGML. Como nomenclatura padrão foi adotada a REC, representando as primeiras letras do município.

Os resultados dos testes da modelagem da proposta, aplicados para o caso dos Edifícios, demonstraram a viabilidade da integração destes padrões. Verificou-se, assim, a sua aplicabilidade à situação jurídica e cadastral, podendo ser testada para outras situações em áreas urbanas do Brasil.

Agradecimentos

As autoras agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos; à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco), pelo fomento à pesquisa "Modelagem de Cadastro Territorial com base na ISO 19.152 - LADM", processo n. 0167-1.07/15 e à Prefeitura Municipal de Recife, pela cessão dos dados utilizados nesta pesquisa.

Referências

- BILJECKI, F., LEDOUX, H., STOTER, J., Zhao J. **Formalisation of the level of detail in 3D City Modelling**. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 48, 2014, pp. 1-15.
- 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, 2012, pp. 257-271.
- COSTA, Talita S. P. S. **Modelagem de cadastro 3D de edifícios com base na ISO 19.152 (LADM)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Programa Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, Recife, 2016. 98p.
- COSTA, T.S.P.; CARNEIRO, A.F.T.; SILVA, R.M. **Uso da ISO 19152 e do CityGML para a modelagem do Cadastro 3D**. *Anais do COBRAC 2016 - Florianópolis –SC*. Florianópolis: UFSC, 2016.
- ENGEFOTO. **Plano de Trabalho para Geração de Volumetria**. Contrato N° 071/2012. Recife, 2014.
- ESPÍNDOLA, Evandro C. **A importância do Modelagem de Objetos no Desenvolvimento de Sistemas**. Site: < <http://www.linhadecodigo.com.br/artigo/1293/a-importancia-do-modelagem-de-objetos-no-desenvolvimento-de-sistemas.aspx#ixzz4EnBeOMDJ>>. Acessado em: julho de 2016.
- HO, S., RAJABIFARD, A., STOTER, J., KALANTARI, M. **Legal Barriers to 3D Cadastre Implementation: What is the issue**. *Land Use Policy* Vol. 35, 2013, pp. 379-387.
- ISO/TC211, 2012. **Geographic information/Geomatics and Geographic information - Land Administration Domain Model (LADM)**, ISO/TC211, 2012.
- KOLBE, T. H. & GRÖGER, G. **Towards unified 3D city models**. *ISPRS Comm. IV Joint Workshop on Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II*. 2003.

- LEMMEN, C., van OOSTEROM, P. BENNETT, R. **The Land Administration Domain Model**. Land Use Policy. Edição 49, 2015. pp. 535-545.
- OGC-Open Geospatial Consortium, Inc. **CityGML UML Diagrams**. 2002-2012.
- PAIXÃO, SILVANE K. S. NICHOLS, SUE e CARNEIRO, ANDREA F.T. **Cadastro Territorial Multifinalitário: Dados e problemas de implementação do convencional ao 3D e 4D**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 18, no 1, 2012, pp.3-21.
- POULIOT, Jacynthe e VASSEUR, Marc. **Terrestrial LiDAR Capabilities for 3D Data Acquisition (Indoor and Outdoor) in the Context of Cadastral Modelling: A Comparative Analysis for Apartment Units**. 4th International Workshop on 3D Cadastres. Dubai. Nov. 2014.
- RECIFE. **Lei n.º 15.563**, de 27 de dezembro de 1991.
- RÖNSDORF, Carsten; WILSON, Debbie; STOTER, Jantien; PLOEGER, Hendrik & OOSTEROM, Peter Van. **Cadastro 3D em Holanda: desenvolvimento e aplicabilidade internacional**. Computers, Environment and Urban Systems. 2012.
- RÖNSDORF, Carsten. CityGML ISO/TC211. Interoperability Workshop. Maio de 2014.
- van DER MOLEN, Paul. **Institutional Aspects of 3D Cadastres**. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences ITC. FIG XXII International Congress. Abril de 2002. Washington, D.C. USA.
- van OOSTEROM, P. J. M. LEMMEM, C.H.J. UITERMARK, H.T. BOEKELO, G., VERKUIJL, G. **Land Administration Standardization with Focus on Surveying and Spatial Representation**. ESRI. 2011.
- SANTOS, J. C. **Análise da Aplicação do Modelo de Domínio de Conhecimento em Administração Territorial (LADM) ao Cadastro Territorial Urbano Brasileiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Programa Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, Recife, 2012. 127p.
- SOUZA, Wendson de O., PIMENTEL, Junívio da S., CARNEIRO, Andrea F. T. **Cadastro 3D e 4D: a Realidade Territorial no Espaço e Tempo**. Anais

XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR,
Brasil, 30 de Abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2522.