

Adolfo Lino de Araújo

**CADASTRO 3D NO BRASIL A PARTIR DE  
VARREDURA A LASER (*LASER SCANNING*)**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil

Área de Concentração: Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial

Linha de Pesquisa: Cadastro Técnico Multifinalitário

Orientador: Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira

Florianópolis  
2015

Araújo, Adolfo Lino de.

Cadastro 3D no Brasil a partir de varredura a laser (laser scanning) / Adolfo Lino de Araújo; orientador, Francisco Henrique de Oliveira - Florianópolis, SC, 2015.

178 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Cadastro Territorial Multifinalitário. 3. Cadastro 3D. 4. Laser Scanner. I. Oliveira, Francisco Henrique de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Adolfo Lino de Araújo

**CADASTRO 3D NO BRASIL A PARTIR DE  
VARREDURA A LASER (LASER SCANNING)**

Este Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 25 de setembro de 2015.

---

Prof. Glicerio Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.  
Orientador/Moderador

**Banca Examinadora:**

---

Profa. Ana Clara Mourão Moura, Dra. – UFMG

---

Prof. Carlos Antonio Oliveira Vieira, Dr. – UFSC

---

Prof. Jürgen Wilhelm Philips, Dr. – UFSC

---

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr. – UFSC

---

Prof. Roque Alberto Sánchez Dalotto, Dr. – UNOCHAPECÓ

---

Prof. Peter van Oosterom, Dr. – TU DELFT



*Para Cassandra,  
com amor.*



## Agradecimentos

Toda conquista é coletiva. Ao final de uma etapa longa como esta, na qual aparentemente sou digno de homenagem no campo particular, reforço a minha crença de que não consegui nada sozinho. Neste espaço dividirei a conquista deste título com aqueles que mais de perto ou mais de longe, de maneira mais direta ou mais indireta, por um breve instante ou durante todo o tempo, contribuíram para este fim.

Agradeço...

A Deus, o Senhor da Vida, que me permitiu chegar até aqui e a quem peço me permita continuar progredindo;

Aos amigos espirituais, que me sustentaram na caminhada e me deram forças para concluí-la;

A minha amada esposa Cassandra, pela paciência inabalável e pelo amor a mim dedicado;

Aos meus pais, Nicolau e Zélia, que tanto se esforçaram (e se esforçam) para serem os exemplos de vida a quem admiro e por me ensinarem a sempre reconhecer as pequenas e grandes conquistas;

A Denise, Alcione, Abigail, Delane e Ana Caroline, pelas palavras de apoio e pelo carinho de sempre;

Ao meu amigo (por acaso, orientador) Francisco, pela confiança e liderança inspiradoras;

Ao também querido amigo Flavio, pelo companheirismo a toda prova nesses anos;

Aos colegas do Curso Técnico de Agrimensura do IFSC, pela acolhida na equipe de trabalho, pelas discussões enriquecedoras e pelo crescimento pessoal e profissional a mim proporcionado;

Aos colegas do Curso de Engenharia de Agrimensura da UFPI, pela experiência acadêmica proporcionada no tempo em que convivemos;

Aos professores que se dispuseram a ler, avaliar, sugerir e discutir o meu trabalho;

E a tantos e tantos amigos na Paraíba, no Piauí e em Santa Catarina que, ao longo desses mais de quatro anos, me incentivaram com palavras de apoio e com votos de sucesso.

A todos vocês, o meu agradecimento.





*Cadastré pu être considéré comme la véritable Constitution de l'Empire; c'est-à-dire, la véritable garantie des propriétés, et la sûre indépendance de chacun.*

(Napoléon Bonaparte, 1816)



## RESUMO

A complexidade e o alto adensamento das áreas urbanas têm contribuído para a ocupação cada vez mais verticalizada da superfície terrestre. Na medida em que novas construções sobre ou sob a superfície surgem, as estruturas dos sistemas cadastrais devem acompanhá-las. Tais modificações ocorrem num espaço contínuo tridimensional que não pode ser representado adequadamente em duas dimensões. Nos países desenvolvidos e em muitos países em desenvolvimento os sistemas cadastrais têm migrado para incorporar a terceira dimensão, desenvolvendo modelos de dados baseados nos seus registros atuais e nas técnicas disponíveis, como forma de garantir que intrincados casos de sobreposição do direito de propriedade possam ser equacionados. No cenário internacional há diferentes modelos propostos, desde a manutenção dos Cadastros territoriais tradicionais com o acréscimo de avisos nos títulos de propriedade sobre o uso do espaço aéreo ou do subsolo, passando por modelos híbridos de sub-parcelamento da coluna acima e abaixo da superfície terrestre, até os modelos mais completos de parcelas espaciais volumétricas. A proposição de tais modelos é impulsionada por uma realidade técnica e tecnológica atual na qual se tornou possível coletar, processar e representar dados tridimensionais em larga escala, restando, então, a necessidade de atualização das componentes legal e de avaliação. No Brasil, apesar de não haver uma estrutura cadastral parcelar nos termos internacionais, os mesmos problemas se apresentam e surge a possibilidade de se considerar a aplicação de uma terceira dimensão no contexto da legislação nacional. Esta tese procurou avaliar estas possibilidades e propor alternativas para um Cadastro 3D no Brasil utilizando dados provenientes de varredura a laser (*laser scanning*) aéreo e terrestre.

**Palavras-chave:** Cadastro Territorial Multifinalitário. Cadastro 3D. Varredura a laser.



## **ABSTRACT**

The complexity and the high density of urban areas has contributed to the increasingly verticalized occupation of the land surface. As new buildings under or on the surface appear, the structures of the cadastral systems must accompany them. These changes occur in a three dimensional continuous space that cannot be adequately represented in two dimensions. In developed countries and many developing countries the cadastral systems have migrated to incorporate the third dimension, developing data models based on their current records and techniques available, in order to ensure that intricate cases overlay of property rights can be addressed. Different models have been proposed around the world, since the maintenance of traditional land records with increase warning in property titles about the use of airspace or subsoil, through hybrid models for the sub-parcels above and below of the earth surface, to the complete volumetric spatial parcel models. The proposition of such models is powered by an actual technical and technological reality in which it became possible to collect, process and represent three-dimensional data on a large scale, needing then to update the legal and evaluation components. In Brazil, although there is no a parcel-based registration structure in international terms, the same problems are present and there is the possibility of considering the application of a third dimension in the context of national legislation. This thesis attempts to evaluate these possibilities and propose alternatives for a 3D Cadastre in Brazil using data from laser scanning.

**Keywords:** Multipurpose Cadastre. 3D Cadastre. Laser scanner.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D híbrido, parcelas espaciais vinculadas às parcelas territoriais. Fonte: Stoter <i>et al.</i> (2004a).....	15
Figura 2 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D híbrido, registro adicional de parcela espacial. Fonte: Stoter <i>et al.</i> (2004a).....	16
Figura 3 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D completo. Fonte: Stoter <i>et al.</i> (2004a).....	16
Figura 4 - Estrutura topológica espaço-temporal 4D. Fonte: Oosterom (2006).....	17
Figura 5 - Árvore de particionamento de área generalizada. Fonte: Oosterom (2012).....	18
Figura 6 - Multidimensionalidade do Cadastro.....	19
Figura 7 - Componentes do sistema de navegação. Fonte: Kersting <i>et al.</i> (2005).....	27
Figura 8 - Esquema de varredura a laser por espelhos (transversal à faixa de voo). Fonte: Kersting <i>et al.</i> (2005).....	28
Figura 9 - Produto típico de varredura a laser, Modelo Digital de Elevação, cidade de Karlsruhe. Fonte: adaptado de Lohr (1999).....	29
Figura 10 - Técnicas de levantamento segundo escala e complexidade. Fonte: Adaptado de Barber e Mills (2011).....	31
Figura 11 - Ilustração do processo de imageamento pela tecnologia de varredura a laser; Fonte: Centeno (2007).....	32
Figura 12 - Modelo digital de superfície (esq.) e modelo digital de terreno (dir.), resultado de filtragem de dados laser. Fonte: adaptado de Moro e Centeno (2010).....	34
Figura 13 - Descrição de uma árvore complexa CSG que define um objeto complexo tridimensional. Fonte: Jarroush e Even-Tzur (2014).....	36
Figura 14 - Quatro níveis de detalhamento, exceto LoD0. Fonte: Biljecki (2013).....	38
Figura 15 - Ilustração das propriedades multidimensionais na Suécia. Fonte: Eriksson (2005).....	41
Figura 16 - Integração BIM/Cadastro 3D na Suécia. Fonte: El-Makawy <i>et al.</i> (2014).....	42
Figura 17 - Imagem 3D do Hospital Nya Karolinska, Estocolmo, Suécia. Fonte: Google Earth.....	42

Figura 18 - Exemplo de conflito entre registro e Cadastro na Macedônia. Fonte: Gjorgjiev e Gjorgjiev (2009). .....	44
Figura 19 - Shopping construído sobre avenida, Kuala Lumpur, Malásia. Fonte: Google Earth.....	46
Figura 20 - Saída Sul do Prangin Mall, Penang, Malásia. Fonte: Google Earth.....	47
Figura 21 - Entradas Norte e Leste do Prangin Mall, Penang, Malásia. Fonte: Google Earth.....	47
Figura 22 - Estrutura sobre a Rodovia Nacional, Edifício Sirios, Norte da Grécia. Fonte: Google Earth.....	49
Figura 23 - Estrutura pública para esporte e lazer sobre a Rodovia Nacional, arredores de Atenas. Fonte: Google Earth.....	49
Figura 24 - Construção sobre arcada (esq.) e imóvel subterrâneo com superfície de entrada (dir.). Fonte: adaptado de Dimopoulou et al. (2006).....	50
Figura 25 - Sub-parcelas espaciais criadas a partir da implantação do projeto do Carmel Tunnel, Haifa, Israel. Fonte: Forrai e Kirschner (2003). .....	52
Figura 26 - Fotografia do túnel templário sob a cidade de Acre, Israel.	52
Figura 27 - Perfil longitudinal do túnel templário e das construções na superfície topográfica. Fonte: Shoshani et al., 2004. ....	53
Figura 28 - Sub-parcelas espaciais no túnel templário em Acre, Israel. Fonte: Shoshani et al., 2004.....	53
Figura 29 - Construção com sobreposição de direitos de propriedade. À esquerda, fotografia da fachada. No centro, planta do térreo. À direita, plantas adicionadas ao título. ....	54
Figura 30 - Edifício da empresa Nationale-Nederlanden sobre a rodovia Utrechtsbaan, Haia, Holanda. Fonte: Google Earth.....	55
Figura 31 - Representação esquemática das parcelas territoriais. Fonte: Stoter e Zevenbergen, 2001. ....	55
Figura 32 - Modelo 3D de Oslo, Noruega. Fonte: Valstad, 2010. ....	57
Figura 33 - The Gabba Cricket Stadium, Brisbane, Austrália. À esquerda, construção sobre a Vulture Street; à direita, sobre a Stanley Street. Fonte: Google Earth.....	59
Figura 34 - Visualização da sobreposição do estádio sobre o logradouro. Fonte: Stoter et al. (2004a).....	60
Figura 35 - À esquerda, mapa cadastral com a representação da projeção das parcelas espaciais. À direita, exemplo de diagrama 3D adicionando ao título da parcela espacial. Fonte: Stoter <i>et al.</i> (2004a).....	60



Figura 36 - Típica planta cadastral canadense. Fonte: Pouliot et al. (2010).....	61
Figura 37 - Indicação de existência de planta complementar no Cadastro de Quebec, Canadá. Fonte: Pouliot et al. (2013).....	62
Figura 38 - Exemplo de imagens da PC: planta baixa do segundo andar (a) e perfil vertical das propriedades sobrepostas (b) e. Fonte: Pouliot et al. (2013).....	62
Figura 39 - Modelo volumétrico de condomínio com 3 apartamentos com base em planta complementar, Quebec, Canadá. Fonte: Pouliot et al. (2010).....	63
Figura 40 - Imagem aérea (esq.) e correspondente modelo 3D do bairro La Cité-Limoilou, Quebec, Canadá. Fonte: Pouliot et al. (2010).....	63
Figura 41 - Estudo para individualização de unidades em prédio na cidade de Copenhagen, Dinamarca. Fonte: Stoter et al. (2004b).....	65
Figura 42 - Vista em perfil do complexo Tanglangshan, Shenzhen, China. Fonte: Guo <i>et al.</i> (2013). .....	68
Figura 43 - Perfil esquemático do complexo Wanxiangcheng, Chenzhen, China. Fonte: Guo et al. (2013).....	68
Figura 44 - Atributos espaciais publicados no site do leilão público. Fonte: Guo et al. (2013). .....	69
Figura 45 - Mapa de ruído de Düsseldorf. Fonte: <a href="http://www.umgebungslaerm-kartierung.nrw.de/">http://www.umgebungslaerm-kartierung.nrw.de/</a> .....	71
Figura 46 - Potencial fotovoltaico de geração de energia por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte: <a href="http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/">http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/</a> .....	72
Figura 47 - Potencial térmico solar por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte: <a href="http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/">http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/</a> .....	73
Figura 48 - Radiação solar por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte: <a href="http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/">http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/</a> .....	73
Figura 49 - Detalhamento e sugestão de projeto técnico por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte: <a href="http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/">http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/</a> .....	73
Figura 50 - Cidade real e cidade legal. Fonte: Erba e Piumetto (2012)..	75
Figura 51 - Proteção de mananciais e margens de corpos d'água. Fonte: Erba e Piumetto (2012). .....	75
Figura 52 - Exploração do subsolo. Fonte: Erba e Piumetto (2012) .....	76
Figura 53 - Restrição do espaço aéreo nas proximidades de aeroportos. Fonte: Erba e Piumetto (2012) .....	76

Figura 54 - Passarela sobre a Av. Beira Rio, Cidade do Recife-PE. Fonte: Google Earth.....	81
Figura 55 - Passarela interligando os Hospitais Hope e Esperança, cidade do Recife-PE. Fonte: Google Earth. ....	81
Figura 56 - Planta da passarela que liga o Aeroporto Internacional dos Guararapes e estação do metrô, cidade do Recife. Fonte: Governo do Estado de Pernambuco. ....	81
Figura 57 - Imagem da passarela sobre a Av. Mascarenhas de Moraes, cidade do Recife-PE. Fonte: Google Earth. ....	82
Figura 58 - Colégio Barão do Rio Branco (esq.) e Hospital da Unimed (dir.), Blumenau-SC.....	82
Figura 59 - Passarela entre prédios em condomínio (esq.) e passarela entre Shopping Muller e Hotel Bourbon (dir.), Joinville-SC.	83
Figura 60 - Hospital São Marcos, Teresina-PI.....	83
Figura 61 - Hotel com sacadas em balanço sobre passeio público, Pato Branco-PR.....	83
Figura 62 - Vista 3D do bairro Boa Viagem, Recife. Fonte: Adaptado de Arruda e Sá (2006).....	84
Figura 63 - Modelo cilíndrico proposto por Souza (2011) para o Cadastro 3D brasileiro. ....	85
Figura 64 - Acompanhamento de uma das parcelas da na área de estudo do Cadastro 3D em Maceió-AL. Fonte: Souza et al., 2013. ..	86
Figura 65 - Análises do espaço urbano: atendimento a parâmetros urbanísticos (esq.) e estoques/déficits construtivos (dir.). Fonte: Adaptado de Santana (2014).....	86
Figura 66 - Localização de Joinville .....	95
Figura 67 - Delimitação da área de interesse no Centro de Joinville (ZC1).....	96
Figura 68 - Diagrama dos retornos apresentados pelo pulso do Laser Scanner. Fonte: Adaptado de ASPRS (2013). ....	98
Figura 69 - Exemplo de arquivo ASCII contendo os dados recebidos da PMJ.....	99
Figura 70 - Exemplo de dados de varredura a laser na área central de Joinville, visualização 3D. Fonte: do autor.....	100
Figura 71 - Exemplo de dados de varredura a laser na área central de Joinville, visualização em perfil. Fonte: do autor. ....	101
Figura 72 - Fluxo da manipulação de dados LiDAR através do LAS Dataset. Fonte: adaptado de ESRI (2014). ....	101
Figura 73 - Diagrama representativo da metodologia utilizada para a extração das alturas das edificações.....	102
Figura 74 - Passagem subterrânea, entrada Oeste.....	108

Figura 75 - Passagem subterrânea, entrada Leste.....	108
Figura 76 - Vista da Avenida Prof. Henrique da Silva Fontes. ....	108
Figura 77 - Mapa da UFSC. Fonte: Adaptado de Universidade Federal de Santa Catarina (2014).....	109
Figura 78 - Arredores do bairro Córrego Grande. Fonte: Google Earth. ....	109
Figura 79 - Numeração dos lotes no site do Geoprocessamento Corporativo. Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Florianópolis (2015).....	110
Figura 80 - Laser Scanner terrestre Faro Focus3D X330.....	110
Figura 81 - Alvo esférico posicionado com base nivelante sobre tripé	111
Figura 82 - Distribuição das cenas no levantamento da passagem subterrânea da UFSC.....	112
Figura 83 - Posicionamento do laser scanner na cena Tese2001 (esq.) e distribuição de alvos esféricos no interior do túnel (dir.).....	113
Figura 84 - Vista planar das cenas: no alto, cenas Tese2000 (esq.) e Tese2001 (dir.), no centro, cenas Tese2002 (esq.) e Tese2003 (dir.) e abaixo, cenas Tese2004 (esq.) e Tese2005 (dir.).....	113
Figura 85 - Vista 3D da nuvem de pontos da segunda coleta de dados, software Scene. ....	114
Figura 86 - Fluxo dos processos para geração dos modelos 3D.....	115
Figura 87 - Primeiro cenário gerado no CityEngine: reprodução da situação atual da área de interesse.....	116
Figura 88 - Imagem da Rua Quinze de Novembro gerada no CityEngine. ....	117
Figura 89 - Imagem da Rua Quinze de Novembro. Fonte: Google Street View. ....	117
Figura 90 - Segundo cenário gerado pelo CityEngine.....	118
Figura 91 - Terceiro cenário gerado pelo CityEngine. ....	119
Figura 92 - Resultado do registro entre as cenas no software Scene....	121
Figura 93 - Resultado das tensões entre os alvos esféricos no software Scene. ....	121
Figura 94 - Parcelas territoriais da UFSC, Avenida e passagem subterrânea. ....	122
Figura 95 - Vista em perfil das parcelas da UFSC, Avenida e passagem subterrânea. ....	123
Figura 96 - Desmembramento de parcela territorial no modelo híbrido de Cadastro 3D.....	125
Figura 97 - Caracterização da parcela espacial no modelo completo de Cadastro 3D.....	126

Figura 98 - Diferença de complexidade entre validação geométrica e topológica de parcelas territoriais (a) e espaciais (b). .....	129
Figura 99 - Parcelas espaciais sucessivas relacionadas à parcela territorial (a) e arranjo complexo com lacunas entre as parcelas espaciais (b). .....	129
Figura 100 - Representação gráfica da carta cadastral em projeção ortogonal e caracterização das sub-parcelas espaciais no modelo proposto em Israel. Fonte: Adaptado de Forrai e Kirschner (2003). .....	131
Figura 101 - Aspecto típico de uma carta cadastral. ....	134
Figura 102 - Aspecto típico dos modelos de dados cadastrais tridimensionais. Fonte: Esri CityEngine website. ....	135

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Aplicações do Cadastro 3D em diferentes países .....	77
Quadro 2 – Coordenadas UTM dos pontos de referência (Fuso 22S Sirgas2000) .....	114
Quadro 3 – Majoração do coeficiente de aproveitamento do lote e aumento da área construída .....	120
Quadro 4 – Vértices da parcela territorial desmembrada no modelo híbrido de Cadastro 3D (Fuso 22S Sirgas2000) .....	125
Quadro 5 – Vértices da parcela espacial no modelo completo de Cadastro 3D (Fuso 22S Sirgas2000) .....	126



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AdV	Amtliche deutsche Vermessungswesen
AFIS	Amtlichen Festpunktinformationssystem
ALKIS	Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem
ASPRS	American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
ATKIS	Amtliche TopographischKartographische Informationssystem
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIM	Building Information Modelling
b-reps	Boudaries Representation
CAD	Computer Aided Design
CAL	Coeficiente de Aproveitamento do Lote
CCB	Centro de Ciências Biológicas
CCS	Centro de Ciências da Saúde
CEPAC	Certificados de Potencial Adicional de Construção
CSG	Constructive Solid Geometry
CTC	Centro Tecnológico
CTM	Cadastro Territorial Multifinalitário
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
DESEG	Departamento de Segurança
DOMP	Departamento de Obras e Manutenção Predial
DSMM	Department of Surveying and Mapping Malaysia
EC	European Community
FIG	Federação Internacional dos Geômetras
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Infraestruturas de Dados Espaciais
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INSPIRE	INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
LADM	Land Adminstration Domain Model
Laser	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance
LiDAR	Light Detection And Range
LLO	Legal Land Object
LO	Land Object
LoD	Level of Detail
LUOS	Lei de Uso e Ocupação do Solo
MDS	Modelos Digitais de Superfície

MRNF	Ministério dos Recursos Naturais e da Fauna
PC	Plan Complémentaire
PI	Primitive Instancing
PIB	Produto Interno Bruto
PNAFM	Programa Nacional de Apoio à Modernização Administrativa e Fiscal dos Municípios Brasileiros
PS	Pavimentos Superiores
PT	Pavimento Térreo
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPRs	SpatialPartitioning Representations
SW	Sweep Presentations
TIN	Triangle Irregular Network
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UML	Unified Modeling Language
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZC	Zona Central



## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
1.1 OBJETIVOS .....	8
<b>1.1.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>8</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 O QUE VIRIA A SER UM CADASTRO 3D?.....	9
2.2 DA NECESSIDADE DE UM CADASTRO 3D.....	20
2.3 ASPECTOS LEGAIS ENVOLVIDOS.....	22
2.4 ASPECTOS TÉCNICOS ENVOLVIDOS.....	27
<b>2.4.1 Coleta de dados: LiDAR .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2 Dados de Varredura a Laser para Construção de Cenários Urbanos .....</b>	<b>30</b>
2.4.2.1 Identificação de feições.....	32
<b>2.4.3 Representação de parcelas espaciais .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.4 Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE).....</b>	<b>38</b>
2.5 O CADASTRO 3D EM DIFERENTES PAÍSES: A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL.....	40
<b>2.5.1 Suécia .....</b>	<b>40</b>
<b>2.5.2 Macedônia .....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.3 Malásia.....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.4 Grécia.....</b>	<b>47</b>
<b>2.5.5 Israel .....</b>	<b>50</b>
<b>2.5.6 Holanda.....</b>	<b>53</b>
<b>2.5.7 Noruega.....</b>	<b>55</b>
<b>2.5.8 Austrália .....</b>	<b>57</b>
<b>2.5.9 Canadá.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5.10 Dinamarca .....</b>	<b>63</b>
<b>2.5.11 Trindade e Tobago.....</b>	<b>66</b>
<b>2.5.12 China.....</b>	<b>66</b>
<b>2.5.13 Alemanha.....</b>	<b>70</b>

2.5.14 América Latina: Brasil, Argentina, México e Venezuela...	73
2.5.15 Resumo da experiência internacional .....	76
2.6 CENÁRIO PARA O CADASTRO 3D NO BRASIL .....	79
2.6.1 Estudos sobre Cadastro 3D no Brasil .....	83
2.6.2 Cadastro 3D e o Estatuto da Cidade.....	87
2.6.2.1 Certificados de Potencial Adicional de Construção – CEPAC .....	89
<b>3 MÉTODO .....</b>	<b>93</b>
3.1 CADASTRO 3D SOBRE A SUPERFÍCIE: DADOS DE VARREDURA A LASER AÉREO PARA CEPAC EM JOINVILLE-SC .....	94
3.1.1 Caracterização da Área .....	94
3.1.2 Catalogação dos dados utilizados.....	96
3.1.3 Características dos dados LiDAR utilizados na pesquisa ....	97
3.1.4 Cálculo do Potencial Adicional de Construção .....	102
3.2 CADASTRO 3D SOB A SUPERFÍCIE: DADOS DE VARREDURA A LASER DE PASSAGEM SUBTERRÂNEA EM FLORIANÓPOLIS-SC .....	107
3.2.1 Caracterização da área .....	107
3.2.2 Dados de varredura a laser utilizados e procedimentos de processamento.....	110
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>116</b>
4.1 CADASTRO 3D APLICADO À QUANTIFICAÇÃO DE CEPAC .....	116
4.2 CADASTRO 3D APLICADO À CARACTERIZAÇÃO DE PASSAGEM SUBTERRÂNEA.....	120
4.2.1 Modelagem das parcelas espaciais .....	121
<b>5 DISCUSSÃO: PRINCÍPIOS NORTEADORES PARA O CADASTRO 3D NO BRASIL .....</b>	<b>127</b>

5.1 PRINCÍPIO UM: DA UNIDADE CADASTRAL TRIDIMENSIONAL .....	127
5.2 PRINCÍPIO DOIS: DA COMPLETEUDE DO CADASTRO 3D ...	128
5.3 PRINCÍPIO TRÊS: DA IDENTIFICAÇÃO DA PARCELA ESPACIAL .....	130
5.4 PRINCÍPIO QUATRO: DA HIERARQUIA DIMENSIONAL DO CADASTRO.....	132
5.5 PRINCÍPIO CINCO: DA REPRESENTAÇÃO DA PARCELA ESPACIAL .....	133
5.6 PRINCÍPIO SEIS: DAS REFERÊNCIAS ESPACIAIS DO CADASTRO 3D.....	135
5.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS E A TERCEIRA DIMENSÃO.....	137
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>139</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>143</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em importante artigo na revista *Computers, Environment and Urban Systems*, Çagdas e Stubkjær (2010) apresentaram um apanhado de relevantes publicações internacionais na área de Cadastro e apontaram, entre seis temas da atualidade, o Cadastro 3D como sendo uma tendência entre os projetos de pesquisa em diversos países ao redor do mundo. Esta tendência é motivada pelo fato de que o uso da terra, especialmente em áreas urbanas, é cada vez mais complexo devido ao progresso técnico e à implantação de infra-estrutura acima e abaixo da superfície. Enquanto os sistemas cadastrais tradicionais ainda podem ser suficientes para registrar os direitos e restrições de uso na superfície do território, eles são incapazes de representar espacialmente com precisão direitos e restrições complexos que se refiram à terceira dimensão. A perspectiva do lançamento por parte da FIG de um novo documento contendo seis novas premissas para os sistemas cadastrais a serem aplicadas nos próximos vinte anos – a se chamar Cadastro 2034 – inclui entre as tendências vanguardistas o Cadastro 3D.

Nos países desenvolvidos e em muitos países em desenvolvimento os sistemas cadastrais têm migrado para incorporar a terceira dimensão, desenvolvendo modelos de dados baseados nos seus registros atuais e nas técnicas disponíveis. No Brasil, no momento em que se sedimentam as proposições para um Cadastro parcelar, definido por coordenadas e interligado ao registro de imóveis, surge o cenário adequado para pesquisa e para que se insira o tema Cadastro 3D nas discussões do meio científico.

Esta tese tem a sua justificativa apoiada em duas razões: uma de ordem teórica e uma de ordem prática. Sob o ponto de vista teórico, esta pesquisa abre espaço na discussão acerca do estabelecimento de um modelo cadastral brasileiro para a inserção da terceira dimensão, segundo os princípios do Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM, pela utilização de dados provenientes de Laser Scanner, trazendo para a realidade nacional as possibilidades apresentadas pelos autores internacionais baseadas na experiência e nos estudos de casos dos países cujos sistemas cadastrais têm incorporado informações 3D. Esta migração nos sistemas cadastrais do universo 2D para o 3D tem requerido o desenvolvimento de modelos de dados suficientemente consistentes para interrelacionarem-se com as estruturas parcelares de dados 2D existentes e capazes de atender à demanda de realidades complexas na ocupação da terra, sobretudo nas médias e grandes cidades. Esta pesquisa pretende, ainda sob este aspecto teórico,

investigar as soluções adotadas em outros países para integrar dados 3D com o registro de imóveis (situação espacial e situação legal). É adequado e importante, portanto, sob esse aspecto, que sejam investigadas as metodologias aplicadas às pesquisas em sistemas cadastrais 3D e seus modelos de dados, bem como sua aplicabilidade e potencial para diagnóstico e gestão de áreas urbanas a partir de dados tridimensionais obtidos por varredura a laser ao Cadastro no Brasil. O Capítulo 2 apresenta uma extensa revisão teórica sobre os fundamentos do Cadastro 3D e os diversos níveis de aplicação e finalidades em diferentes países ao redor do mundo. O Capítulo 5, que trata dos princípios norteadores para Cadastro 3D no Brasil, apresenta a redação de um conjunto de sete premissas que são parte da contribuição desta tese no sentido de colaborar com as discussões relacionadas ao tema.

Sob o ponto de vista prático, esta pesquisa tem como premissa realizar dois estudos de caso em cidades brasileiras inserindo a terceira dimensão no modelo cadastral e considerando os conceitos de Cadastro 3D propostos pela Comissão 7 da FIG – Federação Internacional dos Geômetras – com foco no diagnóstico e gestão pública municipal pela análise da aplicabilidade dos instrumentos do Estatuto da Cidade a partir de dados de varredura a laser.

Embora se entenda que outras técnicas de coleta de dados poderiam ser aplicadas aos estudos de caso, fez-se opção pela varredura a laser para a parte prática da tese, não constituindo objetivo a comparação entre diferentes técnicas. Tal opção ocorreu devido a se perceber que a varredura a laser é atualmente uma das mais modernas técnicas para coleta de dados tridimensionais utilizadas, com grandes possibilidades de se tornar cada vez mais comum, haja vista a redução de tamanho e peso dos equipamentos disponíveis, o aumento da velocidade de varredura e da capacidade de armazenamento, bem como as melhorias do desenvolvimento de métodos para processamento dos dados cada vez mais eficiente.

Para a realização de um dos estudos de caso foi escolhida a cidade de Joinville, no litoral norte de Santa Catarina, por dispor de dados recentes de levantamento da área urbana por varredura a laser que podem ser utilizados nessa pesquisa. Um segundo estudo de caso foi realizado na cidade de Florianópolis, nas dependências da própria Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC com um laser scanner terrestre. Desse modo, a proposta de tese aqui apresentada se mostra relevante, por trazer contribuição de natureza técnica-científica-acadêmica ao aplicar os pressupostos, teorias e metodologias para a modelagem e execução de um Cadastro 3D em estudos de caso

brasileiros. Os Capítulos 3 e 4 apresentam a metodologia empregada e os resultados alcançados com a aplicação de varredura a laser acima e abaixo da superfície nos dois estudos de caso.

Na redação da tese tomou-se a iniciativa de grafar o termo *Cadastro* com letra maiúscula para nos referirmos à área particular do conhecimento humano, cuja importância deve estar ao lado de outras áreas que igualmente contribuem para o desenvolvimento e o bem-estar da sociedade, e relativa a um tríplice aspecto específico: técnico (coleta, processamento e armazenamento de dados sobre a localização de uma porção da superfície da Terra), legal (direitos, restrições e responsabilidades sobre a propriedade de uma porção da superfície da Terra) e econômico (valoração de uma porção da superfície da Terra).

Também utilizou-se os termos 2D, bidimensional e territorial como sinônimos para referência ao Cadastro tradicional em cujos registros as parcelas são delimitadas por pares de coordenadas X,Y; bem como os termos 3D, tridimensional e espacial como sinônimos para referência ao Cadastro em cujos registros as parcelas são delimitadas por tríades de coordenadas X, Y e Z.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as bases conceituais e pressupostos do Cadastro 3D para elaboração de diretivas aplicáveis ao cenário nacional com dados provenientes de varredura a laser.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- i. Analisar os conceitos de Cadastro 3D e suas relações com o documento Cadastro 2014, segundo a recomendação da Comissão 7 da FIG;
- ii. Apresentar a aplicabilidade do Cadastro 3D para o cenário do Cadastro brasileiro com integração entre os instrumentos presentes no Estatuto da Cidade e dados tridimensionais provenientes de varredura a laser;
- iii. Verificar as possibilidades de associação entre a representação tridimensional da situação espacial de objetos territoriais e sua correspondente situação legal, conforme diferentes modelos teóricos para Cadastro 3D;  
e,
- iv. Elaborar um conjunto de princípios norteadores sobre implantação de Cadastro 3D como forma de contribuir com as discussões em torno do tema.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O QUE VIRIA A SER UM CADASTRO 3D?

O direito de propriedade sobre a terra tem sido exercido pela humanidade ao longo de todo o curso de sua história e tem acompanhado a evolução de forma proporcional à própria complexidade das sociedades. Entretanto, apenas nos últimos duzentos anos, esse direito passou a ser sistematizado.

Há concordância entre autores da área que durante estes últimos dois séculos a densidade populacional urbana cresceu consideravelmente tornando o uso da terra mais intenso. Esta tendência causou uma crescente importância e disputa pela propriedade da terra, a qual modificou a maneira como as pessoas se relacionam com o território e que acabou por trazer à civilização a necessidade de surgimento de sistemas capazes de registrar os direitos sobre a propriedade territorial, que assumem diferentes denominações, mas que cumprem em linhas gerais as mesmas funções: o Cadastro.

Stoter (2004) reúne uma série de apontamentos tradicionais e indica a dificuldade em se expressar uma definição de Cadastro que seja tanto concisa quanto completa, mas aponta sua característica principal como sendo o casamento de (a) um registro técnico do parcelamento da terra ao longo de um dado território, normalmente representado em plantas em escala adequada, com (b) um registro documental oficial, seja de natureza fiscal ou proprietárias ou os dois combinados, geralmente incorporados em registros associados apropriados.

Corroborando tal dificuldade, a definição de Cadastro dada pela Declaração da FIG sobre Cadastro reúne um conjunto de características estruturais (o que é? de que é composto?) com uma lista de características funcionais (para que serve? qual a finalidade?):

“O Cadastro é normalmente sistema de informações territoriais baseado em parcelas e atualizado contendo um registro de interesses na terra (p.ex. direitos, restrições e responsabilidades). Ele usualmente inclui uma descrição geométrica da parcela ligada a outros registros que descrevem a natureza dos interesses, a propriedade ou controle desses interesses, e frequentemente o valor da parcela e suas benfeitorias. Ele pode ser estabelecido para fins fiscais (p.ex. valoração e taxação equitativas), fins legais (transferência de propriedade), para suporte

ao gerenciamento do uso da terra (p.ex. para planejamento e outros fins administrativos) e permite desenvolvimento sustentável e proteção ambiental.” (Federação Internacional dos Geômetras, 1995)

A individualização da propriedade iniciou originalmente com subdivisões da superfície em unidades usando limites 2D. Por essa razão a entidade básica dos atuais mapas cadastrais é a “parcela”, que torna o mapa cadastral em um mapa 2D. Para garantir completude e consistência, as parcelas 2D não podem se sobrepor e não podem ocorrer “buracos”. Embora parcelas sejam representadas em 2D, alguém com direitos sobre uma parcela sempre tem direito ao espaço em 3D, isto é, um direito de propriedade sobre uma parcela se refere ao espaço 3D que pode ser usado pelo proprietário e não está limitado a apenas a parcela plana definida em 2D sem qualquer altura ou profundidade. Se os direitos de propriedade se aplicassem apenas à superfície, o uso da propriedade seria impossível. Consequentemente, de um ponto de vista jurídico o registro cadastral sempre foi 3D.

Desde que muitos Cadastros existentes ainda são baseados em um paradigma que se estabeleceu há séculos atrás (Cadastros bidimensionais), este paradigma precisa ser reconsiderado e ajustado ao mundo de hoje tendo em vista a complexa escala crescente de direitos, restrições e responsabilidades em relação à terra (STOTER, 2004).

Quando se aborda um Cadastro “supra 2D” o atual entendimento de um Cadastro territorial perde o papel de protagonismo e passa a ser um produto derivado dos Cadastros 3D, 4D, ou seja ele qual for. A denominação desse Cadastro perderia o termo “territorial” e passaria simplesmente a ser um Cadastro multifinalitário, sendo o Cadastro 2D um dos muitos Cadastros temáticos, representando os direitos e restrições que se relacionam com a superfície.

Em concordância com este contexto, os trabalhos de Aien e Kalantari, *et al.* (2011) e Aien e Rajabifard, *et al.* (2011) apontam que os modelos de Cadastro 2D são um subconjunto dos modelos de Cadastro 3D. Desta perspectiva, há uma inversão de direção ou de mudança de ponto de vista que parece bastante sensata. Os autores defendem que não é possível expandir os direitos, restrições e responsabilidades do Cadastro 2D ao 3D, mas que é possível criar modelos que façam o inverso. As parcelas em 2D não são flexíveis o suficiente para acomodar o crescente número de interesses não baseados em parcelas, mas distribuídos continuamente no espaço tridimensional.

Conjuntamente com o aumento e concentração urbana da população, houve um rápido crescimento da quantidade de veículos e de pedestres em circulação nos últimos anos, colocando em uso alguns novos meios de transporte e estruturas como metrô, trens de superfície, estações subterrâneas, trilhos, que foram responsáveis pelo surgimento de construções acima e abaixo da superfície, especialmente nas áreas metropolitanas para evitar dificuldades de tráfego e permitir melhor qualidade de vida (AYDIN, DEMIR e ATASOY, 2004).

Os mesmos autores apontam ainda que a existência de parcelas 3D cria alguns problemas que têm de ser resolvidos. Alguns deles serão:

- Com a existência de parcelas em 3D, o significado do direito de propriedade muda; o ajuste da definição de propriedade vai levar um tempo considerável, uma vez que isso requer uma grande mudança na legislação;

- Seria o direito de propriedade de uma parcela 2D definida como uma coluna de espaço menos a possível existência de uma parcela 3D acima ou abaixo da superfície?

- São os proprietários de parcelas na superfície obrigados a tolerar a definição de uma parcela 3D acima ou sob sua parcela (eles perdem uma quantidade de "espaço" de sua propriedade);

- As relações jurídicas entre as parcelas umas sobre as outras deve ser claramente definido, como o acesso às parcelas via outras parcelas, no que poderia ser chamado de direito de servidão no espaço 3D.

O Cadastro 2014 é um documento publicado pela FIG em 1998 contendo seis declarações que resumiam a visão de vanguarda dos sistemas cadastrais à época com prognóstico para os sistemas cadastrais ao longo dos próximos 20 anos. Nele são recapituladas definições do termo Cadastro – como a tradicionalmente conhecida afirmativa da própria FIG de que o Cadastro é o “inventário público, metodicamente organizado, de dados referentes à propriedade dentro de um país ou distrito, baseado no levantamento de seus limites” (Kaufmann e Steudler, 1998). Este conceito tradicional de Cadastro aparece sempre atrelado ao inventário das parcelas territoriais. É comum referir-se ao Cadastro como o conjunto – ou a soma – de todas as parcelas de um determinado local, seja uma cidade, um estado ou um país.

Com as mudanças e transformações que a própria sociedade sofre em suas relações com o território, o Cadastro também deve sofrer transformações para acompanhar tais modificações. O entendimento mais difundido sobre a parcela territorial é o de que ela corresponde à menor unidade presente no Cadastro e sobre a qual incide – num dado tempo – um regime jurídico que é único. Outra posição mais genérica

sobre a parcela é a de que ela é a uma porção do território sobre a qual se pode exercer algum direito. No Cadastro 2014, as parcelas passam a ser tratadas como Objetos Territoriais e conceituadas como “toda porção finita e homogênea do território, por sua natureza ou por acessão” (KAUFMANN e STEUDLER, 1998).

Quando esta porção do território é delimitada ou amparada juridicamente o conceito passa a ser o de Objetos Territoriais Legais; quando não o são, simplesmente Objetos Territoriais. Assim, grande parte das parcelas naturais, como rios, lagos, florestas e montanhas, que não possuem conotação jurídica, caracterizam os objetos territoriais. De outra forma, quando a porção do território é definida por direito constituído por lei, tal parcela será um objeto territorial legal.

Ainda conforme Kaufmann e Steudler (1998), na primeira declaração do Cadastro 2014 (*Statement 1*) encontra-se o seguinte texto: “O Cadastro 2014 mostrará a completa situação legal do território, incluindo direitos e restrições públicas”. Esta era a visão progressista da FIG em 1998, apontando para o que viria a ser o Cadastro nos diversos países do mundo num prazo de 20 anos. Muito embora o conteúdo do documento seja em parte um retrato das transformações que os sistemas cadastrais tradicionais (bidimensionais e analógicos) sofriam em termos tecnológicos (havia declarações sobre a “morte” dos mapas cadastrais em detrimento da modelagem e a abolição de documentos em papel, por exemplo), esta primeira declaração e o conceito de Objetos Territoriais são abrangentes o suficiente para que se possa incluir aqui uma perspectiva cadastral tridimensional.

Entre outros casos, quando se trata do direito de mineração ou da exploração do espaço aéreo ocorre uma situação prevista por instrumento legal abaixo ou acima da superfície topográfica, portanto no território, e que deve ser contemplada no Cadastro. A delimitação, o registro e a representação bidimensional serão insuficientes para alcançar todas as possibilidades cada vez mais complexas de ocupação e exploração do território. Em alguns casos estas ocupações estão sobrepostas em níveis diferentes e abre-se caminho para a implementação de um Cadastro 3D, a fim de que a completa situação legal seja apresentada, incluindo aí todos os direitos e restrições (CARNEIRO, ERBA e AUGUSTO, 2011; CARNEIRO, ERBA e AUGUSTO, 2012).

Um Cadastro 3D permite que diferentes abordagens se apresentem como delineamentos à sua definição. Tais diferenças são o resultado do estado atual de amadurecimento do sistema cadastral de um país (incluídas aí a legislação pertinente ao registro), da disponibilidade

de dados e das soluções tecnológicas adotadas. Pode-se abordar um Cadastro 3D de maneira estrutural em pelo menos quatro situações de crescente complexidade, quais sejam: i) um Cadastro 2D com informações do relevo do terreno (2.5D); ii) um Cadastro com objetos em 3D (edificações ou objetos territoriais isolados); iii) um Cadastro que contenha levantamentos cadastrais do espaço real acima e abaixo da superfície (de infraestrutura, por exemplo); ou, iv) um Cadastro 3D completo com limites tridimensionais de propriedade.

Considerando este quadro de crescente complexidade, encontra-se a afirmação de Papaefthymiou *et al.* (2004) que diz:

“Sob estas circunstâncias, a mudança para um sistema de Cadastro 3D é progressivamente necessária em curto prazo e absolutamente essencial em longo prazo. Fazer referência a um sistema cadastral 3D, não implica necessariamente um sistema de registro totalmente 3D estruturado. Um sistema compatível, que seja capaz de incorporar o registro de objetos 3D, ainda que bidimensional, pode muitas vezes fazer o trabalho, com igual sucesso.” (Papaefthymiou *et al.*, 2004)

Os referidos autores apresentam, portanto, uma ideia progressiva muito clara que não pretende se desfazer das conquistas em termos de sistemas cadastrais já estruturados, mas que visa a incorporar a terceira dimensão aos poucos, fazendo-se acompanhar pelas mudanças que a própria legislação e a tecnologia permitirem. Em segundo plano, pode-se extrair deste quadro que o Cadastro 3D, sendo incorporado aos poucos, objetiva inicialmente a resolver questões pontuais onde a necessidade apontar – o que dispensa uma transformação brusca em termos de modelagem.

Entretanto, esta ideia aponta também no sentido de que mesmo diante da necessidade premente o Cadastro continuará dependente das estruturas bidimensionais, e assim tem sido em diversos países que adotaram soluções híbridas entre o 2D e o 3D registrando parcelas espaciais referidas a parcelas territoriais em cartas cadastrais.

O ideal, neste cenário de transição e de crescente complexidade, é que o sistema cadastral possa se adaptar de tal forma que onde a parcela territorial responda positivamente ao princípio da especialidade, assim seja mantida, e nos casos em que a sobreposição de interesses, de direitos, de responsabilidades ou de restrições ocorra acima ou abaixo da superfície, seja possível o uso de parcelas espaciais para atender ao mesmo princípio.

Ainda a respeito das diferentes abordagens estruturais do Cadastro 3D, Stoter *et al.* (2004a) e Ploeger e Stoter (2004) apontam algumas alternativas possíveis e afirmam que o termo 'Cadastro 3D' pode ser interpretado de muitas maneiras que variam de um Cadastro completo com suporte tridimensional a parcelas espaciais, a Cadastros tradicionais nos quais a informação limitada é mantida em situações em 3D. Para os referidos autores três modelos conceituais se distinguem para um Cadastro 3D (com variações), sendo:

- i. *Cadastro 2D com 'etiquetas/advertências 3D' administrativas* ligadas a parcelas territoriais no registro cadastral tradicional, que é a situação comum em muitos países;
- ii. *Cadastro híbrido*, no qual as pessoas têm o direito sobre 'volumes', conferindo-lhes direitos também nas parcelas territoriais de interseção. Aqui há duas variações alternativas. A primeira é o registro de parcelas 2D em todos os casos e o registro adicional de um espaço 3D legal, no caso de unidades de propriedade 3D dentro de uma parcela, usando um limite de altura (inferior e superior) do espaço a que se aplicam direitos e/ou restrições. A segunda alternativa é o registro de parcelas 2D em todos os casos e registro adicional do espaço legal de objetos físicos no espaço 3D (Figuras 1 e 2); e,
- iii. *Cadastro 3D completo*, no qual as pessoas podem explicitamente ter direito sobre 'volumes'. A primeira variação alternativa é a combinação de parcelas infinitas e volumes; a segunda alternativa é aquela na qual somente são admitidas no Cadastro 3D parcelas delimitadas totalmente em três dimensões (ou, como se referem os autores, *volume parcels* – 'parcelas de volumes') (Figura 3).

Stoter *et al.* (2004a) e Ploeger e Stoter (2004) concluem afirmando que o primeiro modelo tem provado ser um bom ponto de partida (é prática corrente em muitos registros cadastrais). No entanto, uma falha fundamental desta abordagem é que tanto a informação espacial quanto não-espacial não são integradas no Cadastro: a informação é armazenada em arquivos separados.

Sobre a abordagem híbrida, os autores afirmam que esta tem demonstrado ser uma boa alternativa para Cadastros que são ainda muito orientados territorialmente, ou seja, o direito de propriedade real só pode ser estabelecido pela vinculação com as parcelas territoriais com direitos

e restrições limitadas. Uma vez que o *status* legal ainda é registrado por meio de parcelas territoriais, consultar o *status* legal em 3D ainda significa recolher informações sobre o estatuto jurídico das parcelas territoriais que se interceptam.

Quanto ao modelo de Cadastro 3D completo, Stoter *et al.* (2004a) e Ploeger e Stoter (2004) ainda afirmaram que se trata do modelo conceitual que mostrou o melhor potencial a longo prazo. No modelo completo a entidade básica deixa de ser a parcela territorial e as pessoas passam ter a títulos de propriedade sobre volumes. Num Cadastro 3D completo o espaço é subdividido em volumes. Obviamente, este é o modelo mais complexo e que vai requerer o maior número de mudanças em termos de legislação no país que o decidir adotar.

Conforme anota Stoter *et al.* (2004a) sobre o modelo conceitual de Cadastro 3D completo:

“As parcelas 3D formam uma partição de volume (não há sobreposições ou lacunas em 3D). A base jurídica, os protocolos de transação imobiliária e o registro cadastral devem apoiar a criação e transmissão de direitos 3D. O mapa cadastral 2D não existe mais e, portanto, não estabelece quaisquer restrições sobre os direitos 3D, ou seja, direitos 3D não estão relacionados com a configuração da superfície. Objetos imobiliários são definidos em 3D. Direitos e restrições estão relacionadas com volumes. As relações entre duas parcelas 3D pode ser necessário para cuidar de, por exemplo, a acessibilidade de uma parcela 3D que não está diretamente ligada à superfície.”

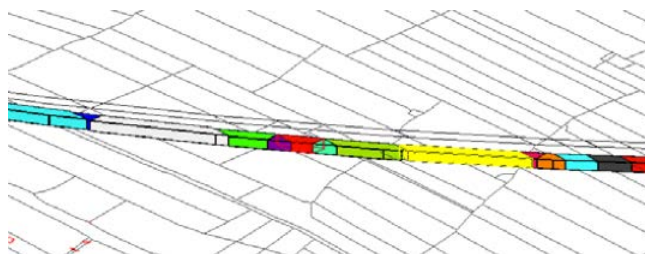


Figura 1 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D híbrido, parcelas espaciais vinculadas às parcelas territoriais. Fonte: Stoter *et al.* (2004a).

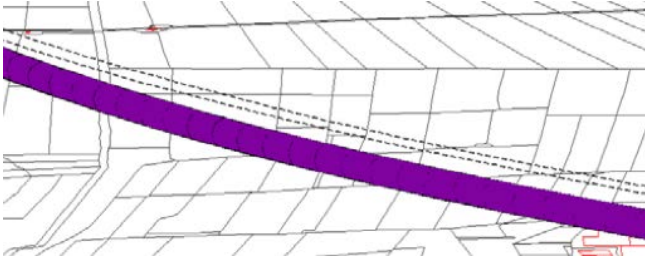


Figura 2 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D híbrido, registro adicional de parcela espacial. Fonte: Stoter *et al.* (2004a)

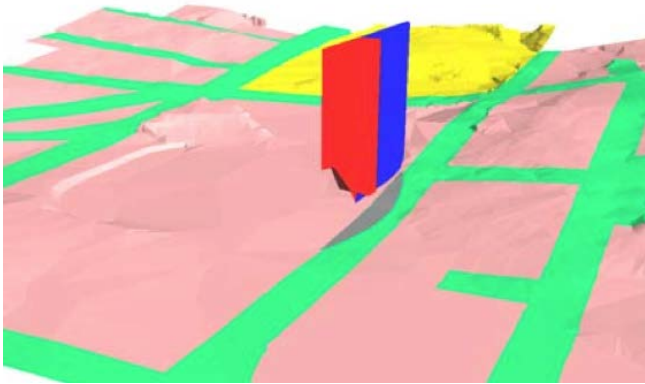


Figura 3 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D completo. Fonte: Stoter *et al.* (2004a)

Em um Cadastro 3D completo, o espaço tridimensional contínuo (o universo) é subdividido em volumes de particionamento. A base jurídica, os protocolos de transação imobiliária e o registro cadastral devem apoiar a criação e transmissão de direitos que explicitamente habilita pessoas para 'volumes' ou parcelas espaciais (ou seja, direitos 3D). O mapa cadastral 2D não estabelece quaisquer restrições sobre os direitos 3D: direitos 3D não estão relacionados com a configuração da superfície (como é o caso nos outros dois modelos conceituais de Cadastro 3D). Objetos imobiliários podem ser definidos em 3D. Direitos e restrições podem ser relacionados espacialmente. Estabelecer relações entre duas parcelas espaciais pode ser necessário para garantir, por exemplo, a acessibilidade de uma parcela espacial que não está diretamente ligada à superfície.



Mais recentemente, os autores vanguardistas na área cadastral propuseram novas perspectivas para o Cadastro 3D ao inserir dimensões distintas nos modelos cadastrais. Em termos de tendência internacional, foram lançados princípios para a modelagem de dados e tem-se caminhado na progressão da multidimensionalidade do Cadastro com versões 4D e 5D.

Um Cadastro 4D seria aquele no qual além da terceira dimensão linear responsável pela configuração das parcelas espaciais, uma componente temporal é adicionada trazendo interessantes considerações para o modelo de dados cadastral (Figura 4).

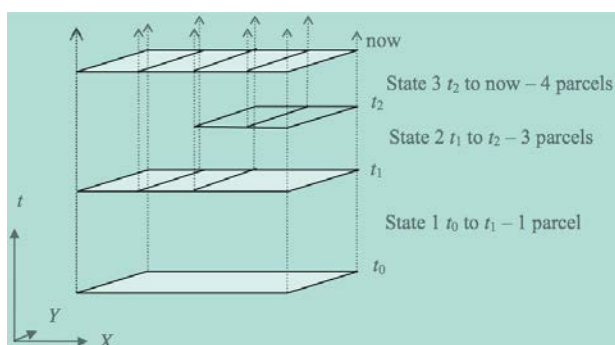


Figura 4 - Estrutura topológica espaço-temporal 4D. Fonte: Oosterom (2006).

O componente temporal não é novidade em registros cadastrais. Na verdade, é relevante para muitas (se não todas) as atividades de cadastrais – desde manter o registro de direitos, restrições e responsabilidades até o presente momento – e para apoio ao mercado imobiliário, impostos sobre a terra, ordenamento do território, segurança da propriedade, etc. Uma dos objetivos de se utilizar identificadores únicos e estáveis nos Cadastros territoriais é garantir que a historicidade da parcela e seus subsequentes desmembramentos e remembramentos sejam mantidos registrados. Por único, entende-se que o identificador não se repete em outra parcela e por estável que a cada modificação nos limites geométricos da parcela um novo identificador é atribuído, sendo desabilitadas, mas armazenadas, as parcelas anteriores que sofreram modificação. Neste sentido, Cadastros já lidam com o aspecto temporal dentro de seus sistemas atuais. No entanto, a questão é se esses sistemas são capazes de lidar com todos os aspectos temporais e exigências. Problemas aparecem no caso onde sistemas cadastrais são inexistentes ou mal executados.

Oosterom *et al.* (2006) afirma que o aspecto temporal e todo o seu detalhamento demandam mais atenção quando se trata do desenvolvimento de sistemas e de normas contribuindo, assim, para a melhoria da administração da terra e o desempenho das organizações cadastrais. À época da publicação do referido trabalho, Oosterom *et al.* (2006) mostrava-se cauteloso em relação ao aspecto temporal e recomendava que os desenvolvedores de sistemas cadastrais fossem realistas afirmando que não estava claro se o tipo de dados 4D era o caminho correto a seguir, na prática, a curto e médio prazo futuro. Na sua visão, isto também dependia menos de considerações técnicas, tais como a importância da partição do espaço de tempo de 4D em relação a outros aspectos Cadastro tais como os legais e organizacionais. Mais recentemente, sua abordagem migrou para a possibilidade de integração completa de dados espaciais e temporais, como pode ser percebido em Oosterom e Stoter (2010).

Sobre o Cadastro 5D, a novidade é a inserção de uma dimensão associada à escala dos dados, resultando em modelos de dados com estrutura topológica completa e limites bem definidos nas dimensões espacial, temporal e de escala, sem lacunas nem sobreposições (Figura 5). Esta abordagem é fundamental quando se olha sobre dados cadastrais de múltiplas origens, bem como sobre os processos de generalização aplicados aos dados primários cadastrais. Oosterom e Stoter (2010) e Oosterom (2012) apresentam os princípios para a modelagem de dados 5D.

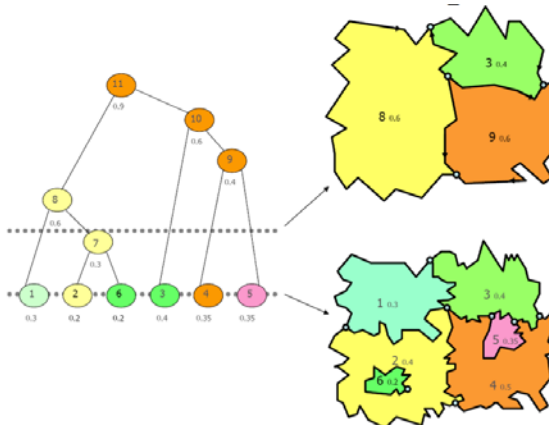


Figura 5 - Árvore de particionamento de área generalizada. Fonte: Oosterom (2012)

O impacto destas abordagens dimensionais adicionais – temporal e escalar – sobre o Cadastro 3D é que torna-se possível definir um Cadastro 3D de diferentes formas, como segue:

- i. O Cadastro 3D é o resultante do Cadastro territorial com adição da componente espacial vertical;
- ii. O Cadastro 3D é o resultante do Cadastro territorial com adição da componente temporal; ou,
- iii. O Cadastro 3D é o resultante do Cadastro territorial com adição da componente escalar.

De forma análoga, o conceito de Cadastro 4D poderia ser estendido para assumir diferentes concepções conforme a variação que se pudesse promover com as múltiplas dimensões cadastrais:

- i. O Cadastro 4D é o resultante do Cadastro 3D espacial com adição da componente temporal;
- ii. O Cadastro 4D é o resultante do Cadastro 3D espacial com adição da componente escalar; ou,
- iii. O Cadastro 4D é o resultante do Cadastro territorial com adição das componentes temporal e escalar.

O Cadastro 5D (por enquanto, até que uma nova dimensão possa ser devidamente modelada) seria aquele cuja definição resultaria na conjunção de todas as componentes espaciais (X, Y e Z), temporal e escalar. A Figura 6 apresenta um resumo das diferentes possibilidades de definição dimensional do Cadastro.

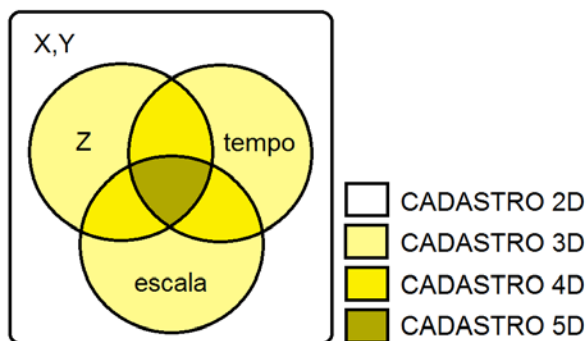


Figura 6 - Multidimensionalidade do Cadastro

Embora estas tendências mostrem-se relevantes, o presente trabalho manterá sua atenção sobre a perspectiva cadastral tridimensional com componentes meramente espaciais e adotará a definição de Cadastro 3D como sendo formado pela combinação do

Cadastro territorial adicionado da componente vertical, mas recomendará o aprofundamento dos aspectos apresentados acima em pesquisas futuras.

## 2.2 DA NECESSIDADE DE UM CADASTRO 3D

Durante grande parte da história da civilização humana, a terra tem sido uma das principais fontes de riqueza, poder e sustento. Nas monarquias ou nas sociedades feudais, a regra primária entre as classes sempre foi garantir que os privilégios fiscais fossem contabilizados pelo proprietário das terras. Então, a função básica da administração da terra era registrar a propriedade e servir como um instrumento fiscal para a gestão do sistema de tributação (KARKI *et al.*, 2010).

Os sistemas de administração de terras tem existido historicamente para arrecadar tributos, proteger os direitos de propriedade das pessoas sobre a terra, regular o mercado de terra e controlar seu uso. De acordo com Dale e Mclaughlin (1999), a administração de terras consiste tradicionalmente em três funções: a jurídica (para a propriedade da terra), a regulatória (para o uso da terra) e a fiscal (para o valor da terra), com o gerenciamento da informação da terra perpassando as três funções.

Todavia, e ainda segundo Karki *et al.* (2010), os modernos sistemas de administração da terra deslocaram o foco primário de uma administração fiscal para uma abordagem de gestão mais abrangente da terra, integrando os conceitos contemporâneos sobre o papel de uma administração de terras, que refletem e se adaptam às demandas de mercado ou fatores de atração. A forma como a terra é usada é guiada pela interação de fatores sociais, econômicos e ambientais.

Como as unidades de terra foram o foco inicial da administração de terra, os sistemas cadastrais e modelos de dados naturalmente desenvolveram-se em torno da parcela territorial para sua administração e informação. Entretanto, o conceito de parcela não é suficientemente flexível para acomodar ou suportar o número crescente de produtos complexos (por exemplo, redes diversas como as de água, de eletricidade, de comunicações, de gás, colocadas sob e sobre a superfície, direitos minerários, etc.) e de outros interesses (por exemplo, patrimônio, meio-ambiente, restrições de uso) sobre a terra. No presente contexto, a crescente complexidade das grandes e modernas cidades sugere que os modernos sistemas de administração territorial necessitam de uma maior capacidade de gerenciamento a fim de incorporarem a terceira dimensão.

Conforme visto, tradicionalmente a informação cadastral é definida em 2D. Os objetos são digitalmente armazenados e mantidos em sistemas de informações espaciais. A situação das parcelas e dos objetos legais é registrada em sistemas de duas dimensões espaciais. Devido ao crescente interesse no uso do espaço sob e sobre a superfície, a informação 3D tem se tornado mais e mais importante no registro de um mundo que é contínuo e em três dimensões. Ademais, ao lado das informações descritivas dos objetos 3D, a tecnologia atual permite que se integrem outras informações e outros formatos de dados digitais como vídeos ou imagens, por exemplo (AYDIN, DEMIR e ATASOY, 2004).

Para Oosterom *et al.* (2004), este interesse crescente de registro cadastral 3D é causado por uma série de fatores, entre eles destacam-se:

- i. um aumento considerável nos valores de propriedade (privada);
- ii. o número de túneis, cabos e dutos (água, luz, esgoto, telefone, gás, cabos de dados de fibra de vidro, cabos coaxiais de TV), lugares de estacionamento subterrâneo, shoppings, edifícios acima de estradas e ferrovias e outros casos de edifícios de múltiplos níveis tem crescido consideravelmente nos últimos quarenta anos; e,
- iii. uma abordagem 3D possível e já presente em outros domínios, como 3D GIS (Sistemas de Informação Geográfica), dados topográficos 3D, coleta de dados 3D em alta velocidade e com possibilidade de armazenamento e processamento massivo (GPS, *laser scanner*, topografia), planejamento 3D, com uma abordagem tridimensional de registro cadastral tecnologicamente realizável.

Do ponto de vista científico e tecnológico, o desafio consiste muito mais em estabelecer modelos de dados consistentes e desenvolver métodos para a coleta, o processamento e o gerenciamento sistemáticos desses dados 3D, haja vista que eles necessitarão relacionar-se com os dados 2D em uso atualmente. Nesse sentido, Osskó (2008) aponta outras graves considerações que devem ser feitas quando da adoção de um modelo cadastral que envolva a terceira dimensão. Duas delas parecem se apresentar como prioritárias: i) a descrição geométrica dos objetos reais, sob e sobre a superfície, e, ii) a criação de identificadores únicos destes objetos reais. Entretanto, do ponto de vista prático, há outros desafios como, por exemplo, a integração desses dados 3D – que correspondem à situação espacial dos objetos – com os registros de imóveis – que correspondem à situação legal.

O crescimento populacional, a urbanização e a industrialização desencadearam o surgimento dos grandes aglomerados urbanos e foram os grandes responsáveis pela demanda por mais espaço. Todos estes fatores tem exercido pressão crescente sobre o planejamento do uso do solo e o desenvolvimento. Como resultado, cada vez mais se utiliza toda e qualquer possibilidade de ocupação acima ou abaixo da superfície. Todo esse desenvolvimento e ocupação impactam os interesses relacionados às parcelas subjacentes.

Um Cadastro 3D deverá auxiliar no gerenciamento desse desenvolvimento tridimensional e possibilitar um aumento de funcionalidade no caráter multifinalitário do Cadastro. Como o papel do Cadastro tem se modificado acompanhando o desenvolvimento da civilização, os modelos cadastrais devem também se desenvolver indo ao encontro das demandas atuais.

## 2.3 ASPECTOS LEGAIS ENVOLVIDOS

Os sistemas e modelos cadastrais existentes lidam apenas com o direito de propriedade na superfície, e, de forma geral, nos códigos civis ao redor do mundo este direito é extensivo abaixo e acima da superfície irradiando-se do centro da Terra aos “limites” do céu, exceto em relação à leis específicas (como exploração mineral ou proteção do espaço aéreo). Deste ponto de vista, os limites parcelares seriam planos verticais e não linhas na superfície. A maioria dos Cadastros, entretanto, considera a Terra como plana (dentro de um sistema de projeção) e registra as parcelas em duas dimensões (DIMOPOULOU, GAVANAS e ZENTELIS, 2006).

A definição do direito de propriedade, portanto, é uma questão que está em aberto quando se trata de abordar parcelas no espaço tridimensional. Na realidade, há muitas restrições ao direito de propriedade, sendo que algumas são óbvias e constam nos códigos do direito de cada país, e outras são difusas devido à dificuldade em defini-las e descrevê-las no registro.

O Cadastro 3D deve determinar a localização das parcelas no espaço e seus limites tridimensionais e servir a objetivos legais e físicos, além de continuar sendo utilizado para mapeamento básico, planejamento territorial e ambiental.

O desenvolvimento de um Cadastro 3D envolve de um lado a resolução de problemas técnicos, tecnológicos e geodésicos e, de outro lado, a resolução de aspectos legais. Do ponto de vista científico e tecnológico, o principal desafio consiste na aquisição, processamento e

gerenciamento dos dados tridimensionais. A terceira dimensão, que não aparece nos atuais modelos de representação cadastral bidimensional, carece do desenvolvimento de modelos capazes de gerenciar informações relativas à subsuperfície e sobresuperfície e conectá-las às informações já existentes da superfície (CARNEIRO, 2009).

Benhamu (2006), que estudou a implantação de soluções para um Cadastro 3D em Israel onde os interesses estão voltados em sua maioria para os problemas no espaço subterrâneo, apontou que os principais desafios encontrados foram: o desenvolvimento de um modelo cadastral tridimensional que contemplasse tanto os registros na superfície quanto da realidade subterrânea, a definição de sub-parcelas que fossem capazes de englobar os objetos físicos subterrâneos, a integração de sub-parcelas espaciais de forma a produzir parcelas espaciais e a produção de um plano de registro espacial.

A solução encontrada em Israel foi consolidada, após uma série de estudos de alternativas, no registro de sub-parcelas espaciais que são o resultado da subdivisão da parcela territorial (cuja definição permanece inalterada). Qualquer projeto estabelecido em uma das sub-parcelas espaciais (acima ou abaixo da superfície) será limitado e definido por uma linha de contorno 3D e seu volume. Se um projeto espacial se estender acima ou abaixo de um número de parcelas territoriais, então ele será fracionado em sub-parcelas espaciais, de acordo com as parcelas territoriais existentes sob a projeção ortogonal.

Legalmente, as sub-parcelas espaciais são registradas como parte da parcela territorial. O registro inclui a definição 3D da sub-parcela espacial e no caso da concatenação de várias delas em uma única parcela espacial, esta parcela é registrada separadamente.

Dimopoulou, Gavanas e Zentelis (2006) enumeram um conjunto de situações onde há sobreposição de direitos de propriedade (público sobre privado, ou vice-versa) em diferentes níveis, ou ainda outras pouco convencionais onde a ocupação de edificações históricas ocorre umas sobre as outras em encostas íngremes. Em todos os casos, o Cadastro tradicional em duas dimensões da Grécia não foi capaz de registrar os direitos ou restrições de uso do território. No Cadastro grego a solução proposta passou por uma delimitação precisa das parcelas envolvidas com a finalidade de identificação dos múltiplos níveis de ocupação do território, caracterização volumétrica dos problemas e adequado registro a partir da adição da terceira dimensão. A abordagem cadastral tridimensional na Grécia, como na maioria dos países, não é ainda de um Cadastro 3D em larga escala ou que atinja o território em toda a sua completude, mas prepara-se para atender pontualmente os casos

identificáveis de conflito de interesses nos quais somente uma abordagem ou modelo “supra 2D” possa ser eficiente e apropriada.

A inserção da terceira dimensão em um sistema cadastral requer mudanças significativas na legislação na maioria dos países. A literatura científica apresenta algumas alternativas que têm sido adotadas em diversos países e que variam desde soluções mais simples, nas quais ao lado dos direitos e restrições de uso na superfície é adicionada uma nova camada que trata dos mesmos direitos e restrições de uso para as situações complexas (uma espécie de extensão do modelo parcelar 2D), até soluções bastante complexas, nas quais os objetos passam a ser modelados em 3D numa concepção de parcelas volumétricas, havendo ainda entre os dois casos soluções híbridas e intermediárias (Oosterom *et al.*, 2004). Sobre o aspecto técnico e tecnológico, da topologia e da geometria de objetos cadastrais 3D, Peres e Benhamu (2009) apresentam relevantes considerações.

Há ainda que se considerar, em todo este contexto, os conceitos de Cadastro 3D e 2.5D apresentados pela Comissão 7 da FIG e seus desdobramentos e aplicabilidade à realidade cadastral local. As soluções para superar os problemas que surgem durante o registro da propriedade em unidades 3D no registro cadastral dependem do sistema jurídico nacional e do estado da arte do sistema cadastral no país específico (STOTER, OOSTEROM, *et al.*, 2004).

Considerando o contexto nacional destacam-se duas leis que se correlacionam com os aspectos legais de um Cadastro 3D por limitarem o direito de propriedade. São elas: o Código de Mineração e o Código Brasileiro de Aeronáutica.

O primeiro apoia-se sobre o regime constitucional brasileiro do aproveitamento das riquezas minerais e segue a tradição dos grandes países mineradores: o Estado detém o domínio e o controle sobre os recursos minerais e consente sua exploração pelo particular. O subsolo constitui unidade distinta do solo para fins de aproveitamento mineral. Desde a Constituição e do Código de Mineração de 1934, o direito de propriedade sobre uma parcela não alcança as jazidas e as minas nela localizadas. A partir desse ano, rompeu-se a concepção acessionista, pela qual a propriedade da superfície se estende “*ab inferos ad astra*” (do inferno ao céu). Os recursos minerais deixaram de integrar o patrimônio do proprietário de superfície, que não podia mais dispor, nem autorizar sua exploração (FREIRE, 2007).

O art. 1.229 do Código Civil orienta somente os casos nos quais o subsolo é não mineralizado. Assim, diz-se que os recursos minerais, encontram-se adormecidos no subsolo, não tendo existência econômica



real ou expressão jurídica prática. Nessa fase, a coletividade não tem proveito das riquezas minerais do país. O texto do referido artigo afirma 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" (Brasil, 2002).

Portanto, desde que não se configure prejuízo ao proprietário da parcela esta lhe pertence até uma altura e profundidade útil (passível do exercício legal da propriedade), ou seja, em três dimensões.

Quando há a presença de riquezas minerais no subsolo, e, consequentemente, interesse da coletividade sobre a sua exploração, o direito brasileiro preconiza a separação entre solo e subsolo. Tal separação foi mantida na Constituição de 1988, e está refletida no artigo 1.230 do Código Civil: "*A propriedade do solo não abrange as jazidas, minas e demais recursos minerais, os potenciais de energia hidráulica, os monumentos arqueológicos e outros bens referidos em leis especiais*", embora o proprietário de superfície coincidente com subsolo mineralizado tenha direito a participar do resultado da lavra, conforme dispõe a Constituição e o Código de Mineração.

O motivo para haver tal separação entre o direito de propriedade na superfície e no subsolo é que a transformação do recurso mineral inerte em benefícios econômicos e sociais demanda uma atividade de risco e investimentos vultosos com longo prazo de retorno. Além da rigidez locacional, que obriga o exercício da atividade extrativa onde a natureza colocou o depósito mineral, os riscos dessa atividade superam muito os riscos das demais atividades produtivas, razão pela qual há necessidade de normas especiais que regulamentem a atividade e tornem seguras as relações jurídicas e atrativos os investimentos.

A respeito do segundo, o Código Brasileiro de Aeronáutica considera o espaço aéreo como o espaço atmosférico existente sobre o território brasileiro sobre o qual o Estado exerce sua soberania. Em concordância com o princípio exposto anteriormente no Código Civil, este é definido como a parte da atmosfera que se estende sobre o terreno ou propriedade de alguém pertencendo-lhe até onde for útil. Novamente surge a figura da parcela territorial (bidimensional) com um direito associado na terceira dimensão.

O Código Brasileiro de Aeronáutica estabelece ainda zonas de proteção nas áreas vizinhas a aeroportos, aeródromos e instalações de auxílio à navegação aérea. De acordo com o Art. 43, as restrições são relativas ao:

“(...) uso das propriedades quanto a edificações, instalações, culturas agrícolas e objetos de natureza permanente ou temporária, e tudo mais que possa embarçar as operações de aeronaves ou causar interferência nos sinais dos auxílios à radionavegação ou dificultar a visibilidade de auxílios visuais”. (Brasil, 1986)

As restrições impostas pelo referido código estão previstas para serem expostas em uma série de planos (básico, de ruído, de proteção e de auxílio à navegação) que refletem todo um zoneamento ao redor das estruturas e devem ser compartilhados entre as administrações federal e municipais a fim de que sejam incluídos nos planos diretores locais. Nos casos mais graves, havendo comprovação de que algum tipo de construção ou uso do solo que venha a ferir o zoneamento disposto no código, é possível que a administração pública recorra a embargo ou demolição de bem público ou privado.

Ainda em relação às questões legais do Cadastro, no Brasil há pelo menos dois avanços significativos nos últimos anos. O primeiro foi obtido pela publicação da Lei Federal N°10267/01 (Brasil, Presidência da República, 2001) que regulamenta o Cadastro rural e introduz, entre outros avanços relevantes, o conceito de parcela ao meio rural, a definição do imóvel pelas coordenadas de seus vértices obtidas com precisão definida e regulação normativa e a interligação das informações do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais com os registros de imóveis. Na área urbana, entretanto, cada prefeitura tem autonomia sobre o Cadastro dos imóveis e na imensa maioria dos municípios não há a mesma interligação com os registros de imóveis. O segundo avanço, mais recente, foi a publicação pelo Ministério das Cidades da Portaria Ministerial N°511/09 (Brasil, Ministério das Cidades, 2009) que trata das Diretrizes do Cadastro Territorial Multifinalitário e que traz a perspectiva, mesmo ainda sem força de lei, de que as prefeituras passem a adotar nas suas estruturas administrativas um Cadastro com os mesmos princípios daquele definido para o meio rural (parcelar, definido por coordenadas, identificável univocamente, simples, atualizável, e que possa se interligar ao registro de imóveis).

## 2.4 ASPECTOS TÉCNICOS ENVOLVIDOS

### 2.4.1 Coleta de dados: LiDAR

A varredura a laser (*laser scanning*), quando embarcada em aeronaves é normalmente intitulada LiDAR (Light Detection And Range) e o seu funcionamento consiste basicamente na determinação da altura de pontos na superfície com o uso de pulsos laser disparados do dispositivo gerador em direção a essa mesma superfície. Ao atingir um alvo, parte da energia emitida reflete de volta ao dispositivo e a partir do tempo entre a emissão e a recepção do pulso calcula-se a distância entre o sensor e o objeto (RIVAS e BRITO, 2003; ASSUNÇÃO *et al.*, 2007).

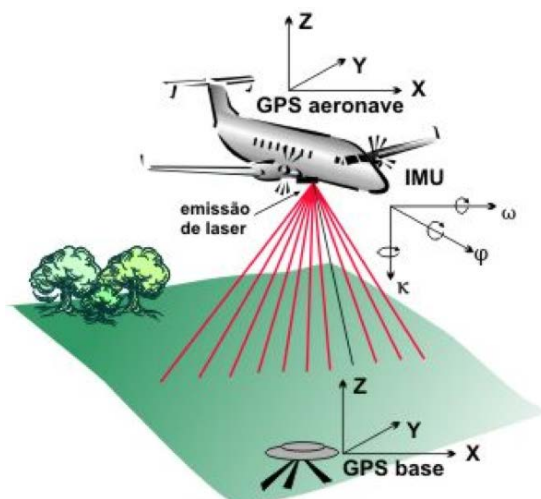


Figura 7 - Componentes do sistema de navegação. Fonte: Kersting *et al.* (2005).

Como o sensor está em movimento – e apenas a medição da distância não é suficiente para determinar as coordenadas do ponto na superfície – o LiDAR faz uso também de um sistema inercial e de um receptor GNSS. A partir dos dados coletados no sistema inercial torna-se possível conhecer a cada instante as inclinações no sensor nos três eixos. Na etapa de processamento dos dados a combinação entre os valores dos ângulos de inclinação do pulso laser, das distâncias medidas, da posição do sensor no espaço advinda do sistema de navegação GNSS e dos valores determinados pelo sistema inercial resultam nas coordenadas calculadas dos pontos na superfície. A qualidade dos dados da varredura

está associada, entre outros fatores, a sincronização de todo este conjunto de medições. A Figura 7 mostra um esquema dos diversos itens do sistema de navegação (LOHR, 1999; BRANDALIZE, 2001; KERSTING *et al.*, 2005; COELHO e VARGAS, 2007).

Geralmente o espaçamento típico entre os pontos varia entre 0,5 a 4 metros, dependendo principalmente da frequência do laser e da altitude e velocidade de voo. Esta faixa de valores é apenas típica e reflete um padrão de operação aplicado nos produtos derivados de varredura a laser pelas empresas brasileiras do setor. Para valores maiores ou menores que estes, há naturalmente impacto em relação a valores, tempo e qualidade dos produtos derivados. Conforme Kersting *et al.* (2005), para efetuar a varredura transversal de uma faixa perpendicular à linha de voo, existem dois tipos principais de sistemas de aquisição de dados: o que utiliza sistema por fibras ópticas para a emissão e recepção dos feixes de laser, e o que se baseia no sistema por espelhos (mais comum no Brasil). Durante o levantamento, o sistema por espelhos emite pulsos de luz que são refletidos em um espelho em direção ao solo. O sistema varre a superfície do terreno abaixo da aeronave registrando a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, além do respectivo ângulo de inclinação de cada pulso em relação a vertical do lugar.

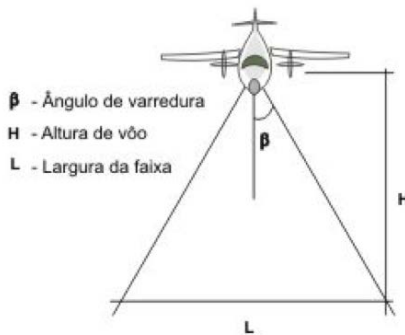


Figura 8 - Esquema de varredura a laser por espelhos (transversal à faixa de voo). Fonte: Kersting *et al.* (2005)

Os pulsos laser refletidos no solo são coletados pelo receptor e convertidos de sinal óptico para eletrônico. O tempo gasto desde a saída do feixe até a sua reflexão no solo e retorno é medido. Com isto, a distância do sensor até o solo pode ser determinada baseada na velocidade da luz (levando em consideração também parâmetros como temperatura e pressão do ar, entre outros). A varredura da superfície

desejada é transversal à direção de voo com um ângulo de abertura especificado pelo operador, determinando assim a largura da faixa abrangida (Figura 8).

O princípio de funcionamento do laser é baseado na emissão estimulada de ondas eletromagnéticas na região do visível, do infravermelho e do ultravioleta. Entre as propriedades físicas importantes do laser estão a coerência (constâncias entre os comprimentos de onda emitidos), a potência (contínua ou pulsada), a duração, a taxa de repetição, o diâmetro do feixe (diâmetro de abertura onde a radiação laser é emitida) e sua divergência (variação do diâmetro com a distância) (CENTENO, STEINLE e VÖGTLE, 2000; BRANDALIZE e PHILIPS, 2002).



Figura 9 - Produto típico de varredura a laser, Modelo Digital de Elevação, cidade de Karlsruhe. Fonte: adaptado de Lohr (1999).

O laser é um feixe luminoso de baixíssima divergência, ou seja, a emissão do pulso tem como característica que os diversos raios luminosos são praticamente paralelos entre si a curtas distâncias. Entretanto, a divergência torna-se bastante nítida na medida em que a distância entre o emissor e o alvo aumenta. No caso do LiDAR, a divergência está diretamente associada à altura de voo. O resultado da divergência do feixe laser é que ao atingir o alvo o feixe não incide sobre um ponto, mas sobre uma superfície circular ou elíptica (*footprint*). Assim, o feixe pode não atingir um único objeto, podendo ser refletido por diferentes pontos localizados em diferentes distâncias do sensor. Esta característica torna-se um problema quando o sensor é capaz de perceber apenas um retorno do feixe devido ao efeito de borda, mas torna-se uma vantagem quando

o sensor consegue detectar múltiplos retornos, pois permitirá uma melhor modelagem das superfícies submetidas à varredura.

#### **2.4.2 Dados de Varredura a Laser para Construção de Cenários Urbanos**

O laser é a abreviatura da expressão em língua inglesa para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (ampliação da luz através da emissão estimulada de radiação). Na geração de dados geoespaciais, especialmente na execução de modelos digitais de terreno e superfície o emprego do laser é feito pelo uso da técnica conhecida como LiDAR (*Light Detection And Ranging*) ou detecção e medição de distância através de luz) (CENTENO e MITISHITA, 2007).

Para a determinação de pontos tridimensionais, não há apenas a tecnologia de varredura a laser, mas uma variedade enorme de técnicas de levantamento, que podem se caracterizar pela escala em que podem ser usadas (o que é relacionado ao tamanho do objeto que poderia ser usado para medir), e sobre o número de medidas que poderão ser necessárias para a aquisição (o que está relacionado à complexidade do objeto).

Levantamentos manuais podem fornecer dimensões e posicionamento num raio de poucos metros, é impraticável para áreas maiores; e, na coleta de muitas medidas (por exemplo, 1.000 ou mais) seria muito trabalhoso e, conseqüentemente, um processo pouco atraente. Fotogrametria e varredura a laser (*Laser scanning*) poderiam ser utilizadas para fornecer um número maior de medições para áreas de tamanhos similares e, também, são apropriados para objetos mais complexos. Ambas as técnicas podem também ser implantadas do espaço aéreo, de modo a fornecer dados de pesquisa abrangendo áreas muito maiores. Enquanto o GNSS (*Global Navigation Satellite Systems* – Sistema Global de Navegação por Satélite) pode ser utilizado para levantamentos em áreas de mesmo tamanho, o número de pontos coletados é limitado em comparação às técnicas aéreas, ou mesmo orbitais. A varredura a laser, seja aérea ou terrestre, é uma das técnicas que permite a coleta de uma grande quantidade de informações tridimensionais em um curto período de tempo (Figura 10).

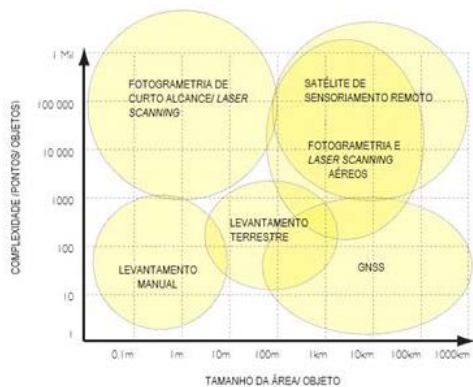


Figura 10 - Técnicas de levantamento segundo escala e complexidade. Fonte: Adaptado de Barber e Mills (2011).

Como em muitas outras técnicas de aquisição de dados geoespaciais, o LiDAR, e nesse caso de forma acentuada, gera um banco de dados na ordem de dezenas de *gigabytes*, ou mais, dependendo da cobertura espacial e da densidade de pontos levantada pelo mesmo. Dessa forma, diversas alternativas foram desenvolvidas com intuito de tornar esse dado mais processável, ou seja, diminuir seu tamanho virtual. Dentre os formatos conhecidos os mais utilizados estão o .LAS e os arquivos ASCII (arquivos de texto que incluem diversas extensões).

Segundo a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2013), há dois problemas principais relacionados com os formatos ASCII: o primeiro, é que eles apresentam um desempenho lento para a leitura e interpretação dos dados LiDAR; o segundo, é que este tipo de arquivo não vincula o metadado ao dado espacial. Assim, a criação do formato padronizado .LAS revolucionou a manipulação e interpretação de dados LiDAR, uma vez que, trata-se de um dado binário (contendo a informação espacial e metadados) facilitando seu processamento e fidedignidade.

O termo varredura a laser aplica-se à uma gama de instrumentos que operam com diferentes princípios, em diferentes meios e com diferentes níveis de precisão. Uma definição genérica aplicada à varredura a laser e aceita quase que universalmente entre os autores da área é: “qualquer dispositivo que colete coordenadas 3D de uma determinada área da superfície de um objeto automaticamente e num padrão sistemático e a uma taxa elevada (centenas ou milhares de pontos por segundo) e que alcance os resultados (por exemplo, coordenadas tridimensionais) em (quase) tempo real” (Figura 11).

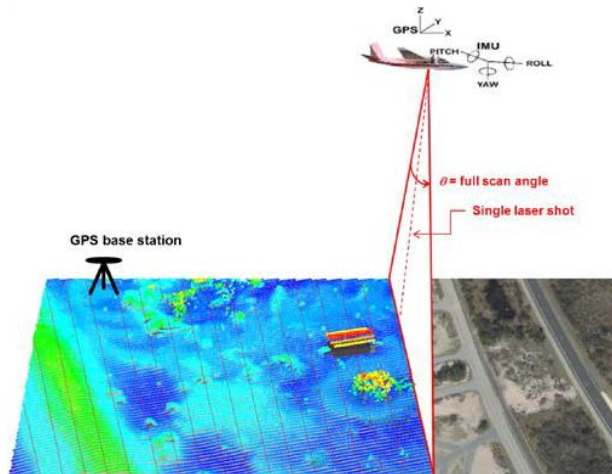


Figura 11 - Ilustração do processo de imageamento pela tecnologia de varredura a laser; Fonte: Centeno (2007).

Segundo Wutke (2006) a tecnologia de varredura a laser é um aperfeiçoamento dos princípios de sensoriamento remoto, cujos medidores passaram a realizar a medição de distâncias sem a necessidade de refletores, permitindo a determinação remota de coordenadas, sem tocar o objeto. Além da distância cada vez maior ao objeto medido, os sensores de varredura a laser procuram realizar um número maior de medições num espaço de tempo menor.

#### 2.4.2.1 Identificação de feições

Os estudos de Miquelles *et al.* (2003), Miquelles e Centeno (2005) e Centeno e Mitishita (2007) demonstraram as limitações impostas na identificação e delimitação de edificações em áreas urbanas com o uso de dados de varredura a laser. Os resultados apontaram que com uma combinação de imagens orbitais de alta resolução e dados de varredura a laser as edificações de maior porte puderam ser identificadas automaticamente com algum sucesso. Entretanto, quando se tratava de edificações de menor porte, como residências agrupadas em quadras, a delimitação ficava prejudicada, sobretudo devido ao espaçamento dos pontos da varredura a laser em relação ao tamanho dos telhados. Os processos de classificação de nuvens de pontos desenvolvidos neste processo com dados de fontes distintas (imagens de alta resolução e



dados laser) acabaram por resultar em algum ou muito retrabalho manual. Alternativamente, foi testada também uma combinação entre dados de varredura a laser e fotografias aéreas com melhor resolução espacial o que ocasionou uma melhoria na delimitação das bordas sem superar, contudo, os processos tradicionais de restituição em termos de precisão.

Dal Poz, Correia e Fazan (2010) corroboram os apontamentos anteriores e propõem um método híbrido de identificação de feições com a varredura a laser e imagens orbitais de alta resolução com o objetivo de realizar um refinamento fotogramétrico. O método proposto foi capaz de identificar feições simples de telhados de quatro águas com discrepância média de 1,1m, sendo que a melhoria média foi de apenas 0,1m em relação à identificação realizada apenas com os dados da varredura a laser. Estes dados mostram o grau de dificuldade em se trabalhar com dados de varredura a laser, na densidade habitualmente utilizada pelas empresas especializadas do ramo no Brasil, com a finalidade de identificação de feições, haja vista que na maioria dos casos a finalidade dos contratantes é a de geração de modelos digitais de terreno.

Em outro trabalho relevante na identificação e delimitação de edifícios, Fazan, Dal Poz e Oliveira (2010), imprimiram uma abordagem de classificação baseada na separação de telhados presentes em nuvens de pontos. O método utiliza MDS - Modelos Digitais de Superfície (redes TIN – Triangle Irregular Network) gerados a partir de dados de varredura a laser e análise de componentes conexos. O procedimento desenvolvido foi capaz de identificar um pequeno número de feições nas quais a caracterização estava bem definida e o entorno não era fator de geração de “ruído” no MDS. Os telhados identificados tinham como característica serem formados por faces planas e de inclinação suave. Fora desse padrão, quando havia vegetação na proximidade ou quando a forma do telhado não era regular, o método não foi capaz de identificar os telhados. Outra limitação apontada por Peixoto e Centeno (2010) tem relação com o “efeito de borda”, quando o feixe laser atinge um objeto na sua borda e despende daí em diante uma fração menor do pulso principal e pode gerar sucessivos pulsos de retorno. O trabalho de Peixoto e Centeno (2010) pode comprovar em comparação com levantamentos feitos por topografia que a coordenada altimétrica fica alterada e pouco confiável.

Sobre os processos de filtragem e classificação de dados laser com finalidade de geração de modelos digitais de terreno, o trabalho de Moro e Centeno (2010) aponta que o problema central é separar os

pontos correspondentes ao terreno daqueles originados a partir da reflexão do pulso laser em árvores e construções. Indica ainda que existem diferentes alternativas, mas que a maioria dos métodos se baseia nas características geométricas relativas dos pontos entre si ou numa combinação deste fator com as características físicas do pulso laser como o número do retorno ou intensidade.

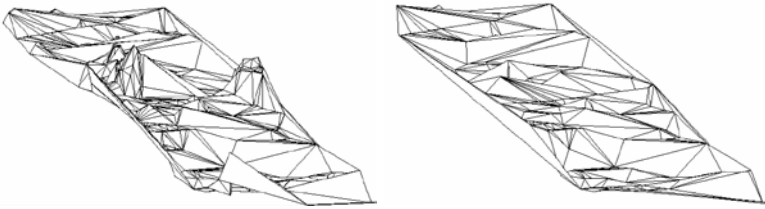


Figura 12 - Modelo digital de superfície (esq.) e modelo digital de terreno (dir.), resultado de filtragem de dados laser. Fonte: adaptado de Moro e Centeno (2010).

O trabalho de Moro e Centeno (2010) utilizou uma metodologia de filtragem baseada na declividade entre os pontos (apenas de primeiro pulso) em conjunto com um método de continuidade de superfície (combinação da triangulação de Delunay e diagramas de Voronoi) que mostrou-se satisfatória para a eliminação de pontos mais altos e geração de modelos digitais de terreno (Figura 12). Entretanto, foram identificadas limitações de uso em terrenos mais acidentados e a indicação do método ficou restrita a terrenos com baixa declividade.

Em geral, os algoritmos de filtragem, com fins de geração de modelos digitais de terreno, são mais eficientes que os de classificação, para finalidade de identificação e delimitação de feições. No primeiro caso a finalidade básica é eliminar da nuvem de pontos da varredura a laser aqueles que não fazem parte do terreno, então com um grande número de pontos e contando com os múltiplos retornos do pulso, tem-se uma superabundância de coordenadas que é capaz de gerar bons modelos de terreno mesmo que boa parte deles seja eliminada durante a filtragem. No segundo caso, o interesse é que haja uma quantidade razoável de pontos sobre uma determinada feição, o que normalmente não ocorre já que a varredura acontece sistematicamente não sendo possível programar o feixe laser para incidir exatamente onde se deseja. Neste sentido, uma solução técnica com vistas à identificação de feições seria o aumento na densidade de pontos por  $m^2$ , o que de outro lado poderia acarretar em maiores custos operacionais e computacionais, tanto na aquisição como no processamento dos dados da varredura.

### 2.4.3 Representação de parcelas espaciais

Em relação à representação das parcelas espaciais em 3D e o desenvolvimento de métodos de visualização de dados espaciais, Jarroush e Even-Tzur (2014) apresentaram um interessante trabalho de vanguarda que estabelecia princípios segundo os quais os futuros Cadastros 3D poderiam se nortear.

Atualmente os cinco modelos mais difundidos para visualização de objetos tridimensionais são:

- i. Instanciamento Primitivo (*Primitive Instancing-PI*): Os sólidos geométricos são definidos por um número de parâmetros constantes. O sistema de modelagem define um conjunto de formas sólidas 3D primitivas que são relevantes para a área de aplicação. Por exemplo, um objeto primitivo pode ser uma pirâmide regular com um número definido pelo usuário de faces que se encontram no vértice.
- ii. Apresentações de varredura (*Sweep Presentations-SWP*): Varrendo um objeto ao longo de uma trajetória através do espaço define um novo objeto chamado uma varredura. Um percurso pode ser definido por uma função matemática ou por um polígono espacial 3D. O tipo mais simples de varredura é definido por uma área 2D varrida ao longo de um caminho linear normal ao plano da área para criar um volume.
- iii. Representações de contorno (também conhecidos como b-reps): assemelham-se às representações simples nas quais o objeto é descrito em termos de seus limites de superfície: vértices, arestas e faces. Esta representação de modelagem sólida é muito comum e é uma plataforma de vários representações conhecidas em modelagem de sólidos, tais como modelos de malha, superfícies NURBS e outros.
- iv. Representações de particionamento espacial (*Spatial-Partitioning Representations-SPRs*): Neste modelo, um sólido é decomposto em um conjunto de conjugados, que são sólidos não-interseccionados mais primitivos que o sólido original, embora não necessariamente do mesmo tipo. Os sólidos primitivos podem variar em tipo, tamanho, posição, parametrização e orientação.

- v. Geometria Sólida Construtiva (*Constructive Solid Geometry-CSG*): Primitivas simples são combinados por meio de operadores de conjunto booleanos regularizados que são incluídos diretamente na representação. Um objeto é armazenado como uma árvore com operadores nos nós internos e primitivas simples nas folhas (Figura 13).

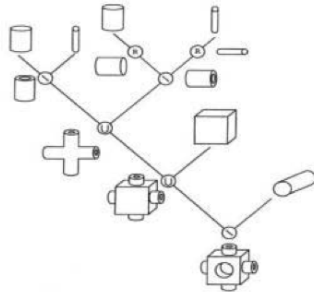


Figura 13 - Descrição de uma árvore complexa CSG que define um objeto complexo tridimensional. Fonte: Jarroush e Even-Tzur (2014).

Segundo o ponto de vista de Jarroush e Even-Tzur (2014), existem características importantes que são ideais para um modelo geométrico 3D que representa os objetos cadastrais tridimensionais. As seis características – ou princípios – mais significativas seriam as seguintes:

- i. Alto nível de precisão: A capacidade de representar o objeto espacial 3D medida sem distorção. Vantagem para o método CSG que suporta gráficos de alta qualidade com primitivas não-poliédricas e o método b-reps que permite superfícies curvas.
- ii. Flexibilidade: A flexibilidade na representação dos objetos cadastrais, incluindo aqueles muito complexos. Vantagem também para o método o CSG e para os modelos de SPR que são capazes de reproduzir os objetos espaciais 3D muito complexos, especialmente aquelas que são feitas à mão por seres humanos, tais como edifícios e pontes, e requerem mapeamento cadastral 3D.
- iii. Validade: Entre todos os modelos de representações, b-reps se destacam como sendo o mais difícil de validar.

- Por outro lado, para validar uma árvore CSG apenas uma simples verificação sintática local precisa ser feita.
- iv. Eficiência para aplicações em Cadastro 3D: Cada modelo de representação poderia ser ideal para usos específicos em representações cadastrais. Por exemplo, novas atualizações cadastrais, tais como união e particionamento, seriam ideais para a representação usando modelo CSG, enquanto a utilização de b-reps seria ideal para encontrar relações de topologia.
  - v. Cálculo de topologia 3D: Muita pesquisa está sendo conduzida neste campo, uma vez que é a principal chave para o estabelecimento do sistema GIS 3D. A maioria dos modelos topológicos 3D conta com os b-reps. No entanto, não existe um modelo específico que tenha sido adotado até este momento. Por isso, o caráter mais importante do modelo de representação que irá ser utilizado é que a representação deve permitir a conversão do formato de dados para outras representações tão facilmente e com precisão possível. A CSG e os modelos SPR facilitam uma conversão precisa e simples de todos os outros modelos de representações.
  - vi. Implementável para métodos de medição em larga escala: Isto significa buscar modelos de representação a serem utilizados por fotogrametria e varredura a Laser para visualização objetos espaciais 3D automaticamente. A maioria das técnicas de representação são baseados no modelo de CSG, ao passo que alguns baseiam-se na utilização dos b-reps.

Jarroush e Even-Tzur (2014) fazem ainda uma análise dos cinco modelos apresentados acima, e destacam que os dois modelos mais robustos, do ponto de vista do atendimento aos seis princípios elencados, são o CSG e o b-reps. Peres e Benhamu (2009) já haviam indicado que embora o modelo CSG não lide com topologia em 3D, e isso é considerado a principal desvantagem do modelo, ele supera o b-reps nas outras áreas. No entanto, como uma vantagem adicional o formato de dados de árvore de CSG permite a conversão de outros formatos de uma maneira simples, enquanto que a mesma operação, nos modelos de b-reps, é complexa e nem é sempre possível.

Em relação ao nível de detalhamento (LoD – *Level of Detail*) das representações tridimensionais, a definição adotada internacionalmente é a mesma proposta pelo projeto CityGML, que faz uma categorização em

cinco diferentes níveis conforme o grau de complexidade e de reprodução da realidade no ambiente computacional. O nível inicial e mais simples é o LoD0, também conhecido como 2.5D (duas dimensões e meia), é composto por um modelo digital de terreno com textura obtida de um mapa ou imagem de satélite. O LoD1 recebe a representação geométrica das edificações, representadas por blocos, mas sem textura nas fachadas. Neste nível de detalhamento, pode-se opcionalmente iniciar representações simplistas dos formatos dos telhados sobre os blocos geométricos. No LoD2 os prédios recebem texturas e representações bem mais realísticas dos telhados. Nesse nível também já se inserem representações da vegetação. O LoD3 possui maior complexidade que o anterior, pois são incluídos detalhes arquitetônicos nas fachadas através de imagens de alta resolução, nas esquadrias (portas e janelas), nos objetos do entorno, representando de maneira bastante realística a composição urbanística da área. No LoD4 a representação passa a ser feita também no ambiente interno das edificações (compartimentos, escadas, acessos, móveis, etc.) e supõe-se que se possa navegar virtualmente (CENTENO e BÄHR, 2008; BILJECKI; 2013). A Figura 14 mostra um esquema dos níveis LoD1 a LoD4.

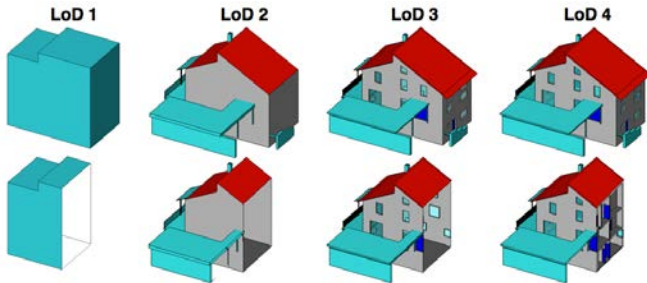


Figura 14 - Quatro níveis de detalhamento, exceto LoD0. Fonte: Biljecki (2013).

#### 2.4.4 Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE)

Outro aspecto técnico relevante, que, entretanto, não será aprofundado neste trabalho, diz respeito às Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE). Estas compreendem esforços de padronização sobre dados espaciais mais ou menos abrangentes territorialmente, podendo apresentar-se em caráter nacional (mais comuns, definidas independentemente por cada país), internacional (como a INSPIRE) ou local (definida em nível estadual ou municipal, mas apoiada hierarquicamente em outra que lhe seja superior).

Quanto à sua definição, embora haja variações, o entendimento ainda mais completo e aceito é o mesmo apresentado desde 1994 pelo ex-presidente Bill Clinton na Ordem Executiva 12906 que se refere às IDE como sendo toda a tecnologia, política, padrões e recursos humanos necessários à aquisição, processamento, armazenamento, distribuição e melhoria da utilização de dados geoespaciais.

Revisando e compilando dados sobre as IDE em diversos países ao redor do mundo, e especialmente concentrados nos países de vanguarda nesse campo, Afonso e Julião (2010) conseguiram sintetizar pelo menos três objetivos comuns a cada uma das IDE investigadas, que são: i) promoção do desenvolvimento sócio-econômico; ii) estímulos à melhoria da governança e iii) promoção do desenvolvimento sustentável.

Fonseca (2006) apresenta um resumo da normativa europeia, INSPIRE, indicando que esta surgiu para atender as necessidades dos mais diferentes órgãos que trabalhavam com informações geográficas voltadas às políticas ambientais, mas, como se tratava de uma iniciativa de natureza intersetorial, expandiu-se para outros setores. Toda a estrutura da INSPIRE é baseada em interoperabilidade e é concebida para permitir que qualquer utilizador de dados espaciais possa identificar e acessar informação geográfica proveniente de diferentes fontes e em diferentes níveis. Entre os utilizadores de dados estão os responsáveis pela geração dos próprios dados, bem como os cidadãos e suas organizações. Do ponto de vista dos serviços oferecidos, estão presentes: a visualização de diferentes níveis de informação, a sobreposição de informações provenientes de diferentes fontes e a análise espacial e temporal dessas informações, entre outros.

Com a migração dos sistemas e modelos cadastrais da segunda para a terceira dimensão em diversos países europeus nos últimos 10 anos, as IDEs também buscaram alternativas para garantir que essa nova perspectiva fosse abarcada. Na Europa, A INSPIRE incorporou a terceira dimensão para possibilitar que as parcelas espaciais 3D passassem a fazer parte das informações acessadas e compartilhadas entre os diferentes níveis de usuários. Ao lado da IDE, foi também elaborada uma norma técnica ISO/CEN 19152, com a colaboração direta dos desenvolvedores do modelo cadastral tridimensional holandês – os mesmos que elaboraram o LADM – Land Administration Domain Model, que foi pioneiro naquele continente em termos de tratar o Cadastro como tridimensional (STOTER, 2004). No presente momento, INSPIRE, LADM e ISO/CEN 19152 atuam de forma integrada sendo totalmente compatíveis, considerando os escopos são diferentes, mas que

os conceitos presentes são comuns e que os produtos gerados são interoperáveis (INSPIRE, 2014).

## 2.5 O CADASTRO 3D EM DIFERENTES PAÍSES: A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

Nos países onde o Cadastro está sedimentado, as aplicações tridimensionais tem naturalmente substituído a perspectiva bidimensional, seja como modelos cadastrais ou perante a atualização dos instrumentos legais que passaram a incorporar a terceira dimensão como forma de definir mais precisamente os objetos territoriais, fenômenos e eventos que ocorrem sobre ou sob a superfície. Stoter *et al.* (2004a), analisando diferentes metodologias de implantação de Cadastros 3D em diferentes países delineou algumas etapas que tendem a se repetir neste processo. A sequência, via de regra, passa pelos campos jurídico, técnico até chegar ao legal. Stoter *et al.* (2004a) afirma que ao estabelecer um registro cadastral 3D, várias fases podem ser distinguidas, sendo que o registro cadastral 3D começa com a possibilidade de estabelecer unidades de propriedade 3D, no âmbito jurídico. Uma segunda etapa passa pelo fornecimento de soluções para as unidades de propriedade 3D, como por exemplo, através de desenhos incluídos no Cadastro (registro público descrevendo interesses sobre a terra) ou, ainda melhor, integrando as informações 3D no registro cadastral (que liga a informação essencial de documentos do registro de terras à geometria de objetos imobiliários). Numa fase final, regulamentos e leis são estabelecidos para definir como preparar e estruturar a informação em 3D que é usada para manter as unidades de propriedade 3D no registro de terras no registro cadastral.

### 2.5.1 Suécia

Na Suécia, desde 2004, há uma lei específica para definir as situações de propriedade multidimensional. Tal lei é considerada um marco naquele país, e a mais importante mudança em termos cadastrais nos últimos 30 anos. A lei caracteriza uma unidade de propriedade multidimensional como um sólido cujo volume é limitado nas direções X, Y e Z, existente sobre ou sob a superfície e que deve conter alguma construção ou outro tipo de estrutura. As unidades de propriedade multidimensionais são criadas por um procedimento cadastral, precedido por um levantamento cadastral. Ao final, os direitos e restrições são registrados de forma semelhante às unidades de propriedade bidimensionais tradicionais e as parcelas 3D podem ser negociadas,



transferidas, alienadas, etc. A procura nos primeiros anos por esse tipo de registro alcançou algumas dezenas de processos e as autoridades suecas objetivam, dessa forma, criar as condições prévias para que um gerenciamento mais eficiente nas unidades onde há diferentes tipos de atividade (Figura 15) e onde maior aporte de investimentos são feitos (ERIKSSON, 2005).

Na Suécia, a necessidade de estabelecer propriedade 3D foi motivada pelo mercado imobiliário e foi muito influenciada pelo fato de que unidades de apartamentos em um complexo de apartamentos só podiam ser possuídas totalmente por uma associação de habitação. Cada proprietário do apartamento podia vender a sua parte líquida da cooperativa. No entanto, apenas a associação podia tomar empréstimos que só podem ser garantido por uma hipoteca sobre toda a propriedade. Consequentemente, unidades de apartamentos não podiam ser hipotecadas de forma independente. Também surgiam dificuldades quando dois tipos de uso eram combinados em um edifício (por exemplo, unidades de apartamentos e escritórios), com diferentes proprietários, bem como a possibilidade de hipotecar as peças separadamente. A separação dessas propriedades faria as unidades de apartamentos, bem como os escritórios, mais atraentes no mercado imobiliário. Portanto, por motivos financeiros e administrativos, existia uma necessidade de dividir as propriedades de tal maneira que as instalações ou partes delas pudessem ser possuídas e hipotecadas separadamente (STOTER *et al.*, 2004a).

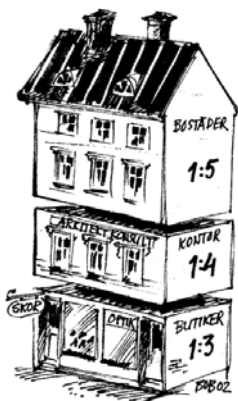


Figura 15 - Ilustração das propriedades multidimensionais na Suécia. Fonte: Eriksson (2005).

Ao longo da última década, os casos de Cadastro 3D na Suécia se multiplicaram e novos delineamentos tem sido promovidos como forma de melhorar continuamente as estruturas cadastrais, como a integração em alguns casos com dados provenientes de projetos BIM – *Building Information Modelling* (Modelagem de Informação da Construção) (El-MEKAWY et al., 2014). As Figuras 16 e 17 mostram o exemplo do projeto e da implantação do Hospital Nya Karolinska, em Estocolmo.

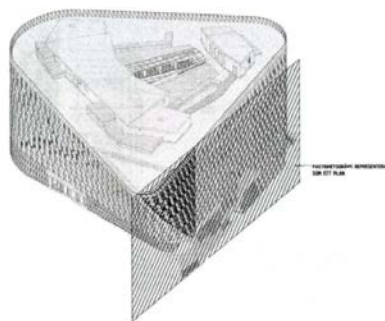


Figura 16 - Integração BIM/Cadastro 3D na Suécia. Fonte: El-Makawy et al. (2014).

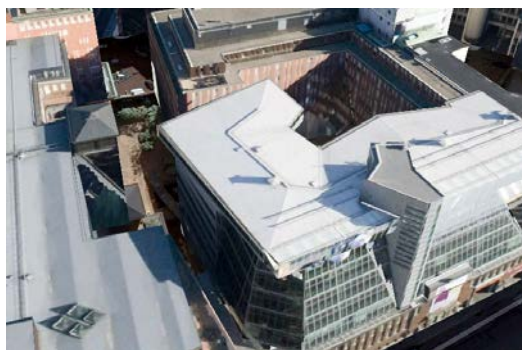


Figura 17 - Imagem 3D do Hospital Nya Karolinska, Estocolmo, Suécia. Fonte: Google Earth.

### 2.5.2 Macedônia

Merece destaque o artigo de Gjorgjiev e Gjorgjiev (2009) que retrata a situação do Cadastro na Macedônia e aponta para possibilidades de aplicação de uma perspectiva tridimensional. O referido artigo coloca

a questão cadastral num patamar diferenciado dos tradicionais Cadastros europeus e americanos por explicitar a situação particular do país – certamente compartilhado por outros países no leste europeu. Os referidos autores relatam a confusa estrutural cadastral herdada de um país que saiu do regime socialista (no qual não havia propriedade privada e, portanto, direito sobre a terra) para a condição de um país emergente com economia aberta. Do ano de 1945, no período pós-II Guerra Mundial quando a Macedônia foi incorporada à Iugoslávia (uma república federativa socialista), até o ano de 1958 o direito de propriedade seguia a máxima adotada nos códigos civis em muitos outros países de que a propriedade ocupada na superfície se estendia do “inferno ao céu”. Tal entendimento permitia o direito de propriedade e a república era, até então, República Federativa Popular da Iugoslávia. No ano de 1958 uma lei baixada pelo governo extinguiu a propriedade privada sobre a terra nas áreas urbanas, tornando-as propriedade social. Mantiveram-se intactos os direitos sobre as terras rurais onde ainda era possível, inclusive, adquirir propriedades nesse meio. A divisão entre o urbano (onde estava estabelecida a propriedade social) e o rural (onde perdurava a propriedade privada) era cuidadosamente registrada em plantas detalhadas elaboradas e aprovadas por conselhos municipais. Por decisão de tais conselhos, a terra deixava de ser rural e passava a ser urbana e o direito de propriedade era transformado em direito de uso. Criava-se uma relação dissociada entre a propriedade da edificação e da terra em si. Era o início da formação do estado socialista que perduraria até a dissolução da Iugoslávia como república em 1991. Com a independência da Macedônia e dos demais estados iugoslavos (Croácia, Bósnia e Herzegovina, Eslovênia, Sérvia e Montenegro) estabeleceu-se uma nova situação que carecia de resolução: como repor à população o direito de propriedade sobre a terra urbana depois de décadas em que ele havia deixado de existir?

Até o ano de 2001, a Macedônia esteve em fase de estruturação como país independente e manteve praticamente intacto o ordenamento jurídico que herdou do estado socialista. Nesse ano foi publicada uma lei que extinguiu o direito de uso e tornou o estado único proprietário de toda a terra urbana, com poderes para arrendar ou permitir concessões de edificações. A mesma lei concedia um prazo aos proprietários das edificações para que estes, a partir de então, “comprassem” a terra ao estado ou se tornassem arrendatários deste.

A partir do ano de 2008 uma reforma na lei passou a permitir que edificações fossem construídas em parcelas cuja propriedade é de terceiros, ou seja, uma possibilidade da transferência do direito de

construir entre particulares, também semelhante ao direito de superfície. Tal modificação fez, na visão de Gjorgjiev e Gjorgjiev (2009), que o ordenamento jurídico sobre o direito de propriedade voltasse ao período pré-2001 quando caracterizava-se a dissociação de propriedade entre a edificação e a parcela herdada do período socialista (antes, proprietário particular/estado; agora, dois proprietários particulares diferentes).

Ainda segundo Gjorgjiev e Gjorgjiev (2009), somada a essa situação particular ainda há uma grave separação entre Cadastro e registro no país, o que ocasiona situações nas quais: os direitos de propriedade sobre a terra urbana (em muitos casos, ainda exercido pelo estado) não está explicitado nas bases de dados cadastrais; o registro de edificações que atravessam mais de uma parcela não é possível, mesmo que a edificação esteja sob a superfície; as edificações sob a superfície não são representadas nos mapas cadastrais (bidimensionais).

Percebe-se, portanto, que no caso da Macedônia o direito de propriedade e a sua representação é bastante precária, entretanto, a própria configuração dissociada entre a propriedade das edificações e da terra cria um cenário promissor para a aplicação de Cadastro 3D. A Figura 18 mostra um dos exemplos na Macedônia no qual configura-se um conflito de propriedade que pode ser equacionado pelo registro de parcelas espaciais. O túnel, de acordo com os mecanismos macedônios para registrar os direitos de propriedade, não pode ser registrado como propriedade separada abaixo do prédio. Algo que poderia ser utilizado nesta situação para garantir o direito de propriedade no túnel seria uma servidão na forma de parcela espacial. De toda forma, não há servidão registrada no Cadastro sobre o túnel e muitos dos edifícios que apresentam interseção com estradas recebem o mesmo tratamento.

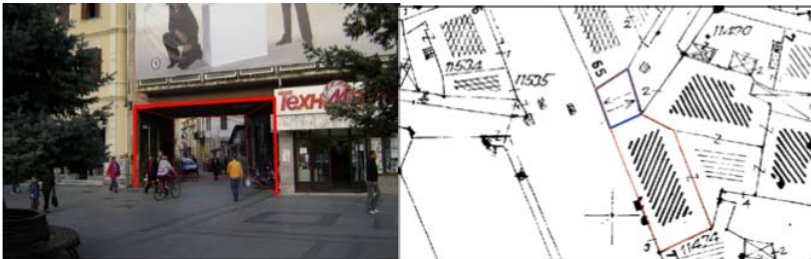


Figura 18 - Exemplo de conflito entre registro e Cadastro na Macedônia. Fonte: Gjorgjiev e Gjorgjiev (2009).

### 2.5.3 Malásia

Na Malásia o sistema cadastral é controlado por duas diferentes agências que operam de forma integrada. A primeira é o Departamento de Levantamentos e Mapeamento da Malásia (*Department of Surveying and Mapping Malaysia – DSMM*), que cumpre é responsável pela informação cadastral, ou seja, pela delimitação das parcelas. A segunda são as Agências de Terras (*Land Offices – LO*) que são as responsáveis pelas informações dos “atributos cadastrais”, ou, pelos direitos garantidos (escopo legal) que se ligam aos objetos cadastrais. O sistema cadastral, como na maioria dos países, é apenas bidimensional, mas há todo um esforço para que a terceira dimensão passe a fazer parte do sistema cadastral e que se passe a registrar a propriedade relativa a edificações complexas e diversos casos de sobreposição de diferentes tipos de uso da terra. As autoridades da Malásia têm visto também uma oportunidade de aumentar a interoperabilidade entre as duas agências a partir da implantação de um Cadastro 3D (HASSAN *et al.*, 2008; TAN *et al.*, 2011).

Entendendo a complexidade da tarefa que se apresentava e a necessidade de um método claro e conciso para representar os dados, os técnicos de ambas as agências adotaram a linguagem UML – *Unified Modeling Language*, para a modelagem. A Malásia movimentou-se para o desenvolvimento de um sistema de Cadastro 3D de forma relativamente simples, uma vez que já possuía uma boa estrutura do Cadastro 2D. A partir de pesquisa e discussão, pode-se perceber que a abordagem híbrida (a mesma proposta por Oosterom, 2004) certamente seria uma boa opção para começar. Esta abordagem significava a preservação do Cadastro 2D e a integração do registro da situação em 3D, considerando situações em 3D como parte do conjunto de dados geográficos cadastral 2D. No entanto, os técnicos do Cadastro malaio entendiam que existiam algumas irregularidades e informações diferentes para ambos os sistemas operarem separadamente (HASSAN *et al.*, 2008; TAN e HUSSIN, 2012).

Do ponto de vista das aplicações do Cadastro 3D na Malásia, os casos mais patentes se materializaram nas grandes cidades nas quais o uso da terra tem sido bastante intensivo. A Malásia é um país em desenvolvimento com cerca de 30 milhões de habitantes e uma abundância de cidades. Possui uma densidade populacional relativamente alta (cerca de 85hab./km<sup>2</sup>) e conta com cidades bastante populosas, como, por exemplo, Kuala Lumpur, onde edifícios altos foram construídos de forma a otimizar o espaço limitado.

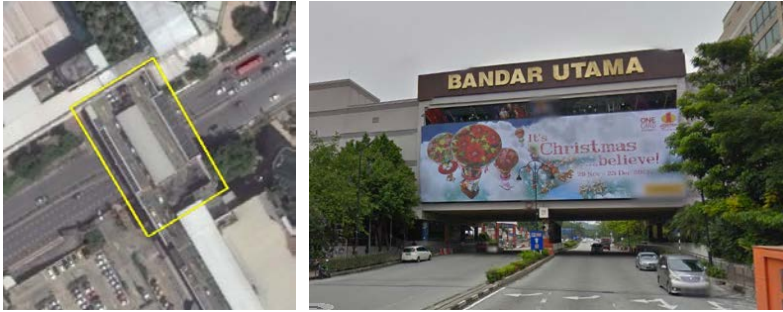


Figura 19 - Shopping construído sobre avenida, Kuala Lumpur, Malásia. Fonte: Google Earth.

O conceito básico da parcela – chamada de lote na Lei de Terras da Malásia – é o espaço infinito de propriedade definido como um cone para baixo partindo do centro da terra, com limites na superfície estendendo-se verticalmente para cima e para baixo ao longo uma extensão. Sua adjudicação consiste em duas partes, primeiro a averiguação dos limites de superfície fisicamente por marcos limítrofes levantados, e em seguida, a apuração oficial do direito sobre a terra por meio de registro e emissão de documentos de título. Entretanto, este entendimento da parcela e do direito de propriedade associado a ela encontra limitações frente à complexidade da ocupação dos edifícios nas cidades malaias. A Figura 19 mostra o exemplo *Shopping Bandar Utama* construído em vários pavimentos sobre a avenida que leva o mesmo nome do estabelecimento e do bairro, na cidade de Kuala Lumpur para o qual houve dificuldade em proceder o registro do título de propriedade (HASSAN *et al.*, 2008).

De maneira semelhante, Tan *et al.* (2011) apresenta o caso de um outro shopping, o *Pragin Mall*, um complexo de lojas, salas comerciais e hotel que se estende sobre duas avenidas na cidade de Penang, norte da Malásia (Figuras 20 e 21). Os exemplos dos shoppings são apenas dois entre muitos outros apontados na literatura e que motivam as ações para a implantação de um Cadastro 3D na Malásia.



Figura 20 - Saída Sul do Prangin Mall, Penang, Malásia. Fonte: Google Earth.



Figura 21 - Entradas Norte e Leste do Prangin Mall, Penang, Malásia. Fonte: Google Earth.

## 2.5.4 Grécia

A Grécia possui um conjunto de leis que regulam o registro e a atividade cadastral e consagram o princípio internacional comum nos códigos civis de que a propriedade se estende acima e abaixo dos limites da superfície topográfica. Especificamente, o artigo 1001 do código civil grego afirma que:

"O regime da propriedade é estendido, desde que nenhuma outra lei se aplique, acima da superfície e abaixo do solo. No entanto, o proprietário não pode proibir uma ação ocorrendo acima ou abaixo o suficiente por ser de interesse particular." (Papaefthymiou *et al.*, 2004)

A legislação grega, entretanto, prevê uma série de exceções a este princípio, pois admite, por exemplo, a possibilidade da existência da figura de coproprietários com direitos registrados sobre apartamentos ou andares em uma edificação (o que abre espaço para uma complexa estrutura de propriedade que acontece na vertical, mas que é registrada

como propriedade horizontal), bem como regula o direito de mineração e a atividade arqueológica.

Papaefthymiou et. al (2004) indicam que o registro da terceira dimensão não faz parte do planejamento estratégico do Cadastro grego, embora as particularidades do território grego poderiam sugerir ou até mesmo forçar uma tal evolução no futuro, considerando alguns aspectos:

- i. A complexidade e dificuldade de aplicar a legislação grega sobre o registro de informações cadastrais. Assentamentos inteiros com *status* de propriedade complexo preexistiam à legislação atual, ou estiveram sob domínio de exércitos de ocupação estrangeira durante centenas de anos e evoluíram de forma independente;
- ii. A ocupação intensiva da terra, resultante de construções complexas, edifícios em múltiplos níveis e do emaranhado de áreas de propriedade; e,
- iii. Que, devido à longa história da nação helênica, a maior parte das escavações para novas construções revelam outras anteriores ou até mesmo construções antigas (com interesse arqueológico provável) já que a maioria dos assentamentos contemporâneos foram construídos sobre as ruínas de cidades mais velhas.

No rol das aplicações de um Cadastro 3D na Grécia, os autores citados, complementados por Dimopoulou *et al.* (2006), apontam como situações de alto interesse:

- i. A existência de construções sobre rodovias públicas, configurando uma sobreposição de interesse e de propriedade já que as rodovias são de propriedade do estado e as construções sobre elas podem ter propriedade distinta. Citam casos como o do edifício *Sirios*, um ponto de apoio para motoristas (propriedade particular) exibido na Figura 22, e da série de complexos destinados ao lazer e prática de esportes (propriedade pública) apresentados na Figura 23, ambos construídos sobre a Rodovia Nacional (*Attiki Odos*) que contorna Atenas e atravessa o país.





Figura 22 - Estrutura sobre a Rodovia Nacional, Edifício Sirios, Norte da Grécia. Fonte: Google Earth.



Figura 23 - Estrutura pública para esporte e lazer sobre a Rodovia Nacional, arredores de Atenas. Fonte: Google Earth.

- ii. Construções situadas sobre arcadas – geralmente chamadas de “*anogeia*” (propriedades superiores) – são consideradas extensões de outro imóvel ao lado da arcada, desde que a sua entrada está sempre localizada no nível do terreno através de outra propriedade nas proximidades. “*Anogeia*” são comuns em pequenos vilarejos (Figura 24) especialmente nas ilhas e a eles são dados dois números de identificação cadastral (um para a arcada, um para o outro estabelecimento) unidos num campo de notas especial. Nesta mesma categoria se encaixam os imóveis subterrâneos com uma fachada de entrada.



Figura 24 - Construção sobre arcada (esq.) e imóvel subterrâneo com superfície de entrada (dir.). Fonte: adaptado de Dimopoulou et al. (2006).

Para atender a estas situações, e muitas outras relacionadas à complexa ocupação de terrenos escarpados nas pequenas ilhas gregas, esforços tem sido despendidos no sentido de incorporar a terceira dimensão ao Cadastro helênico. Até o presente momento, o Cadastro 3D na Grécia encontra-se em estágio de modelagem. As diversas dificuldades econômicas pelas quais passou o país nos últimos 10 anos atrasaram os projetos de modernização cadastral, entretanto, pesquisas independentes como as apresentadas acima, apontaram para o sistema cadastral grego uma solução híbrida de Cadastro 2D e 3D e conduziram à identificação da necessidade de modificações legais relativas ao direito de propriedade. Dimopoulou *et al.* (2006) afirma que uma terceira dimensão adicionada no registro cadastral grego poderia definir mais claramente os direitos de propriedade e restrições dentro de um ambiente urbano em evolução, caracterizado por um número crescente de infraestruturas em camadas múltiplas e atividades econômicas que resultam em construções novas e situações complexas de propriedade.

### 2.5.5 Israel

Em Israel, a partição de múltiplos níveis de uso da terra não deriva exclusivamente das tendências de planejamento modernas e universais. Ele reflete a singularidade histórica, política e geográfica de Israel. Em uma seção do território com milhares de anos de história, uma

separação arqueológico-histórico entre os níveis antigos e novos é um atributo natural de muitas áreas urbanas. Assim, por exemplo, edifícios residenciais são construídos na cidade "antiga" acima de vestígios arqueológicos com milhares de anos de idade.

Além destes aspectos históricos, as autoridades públicas israelenses têm mostrado crescente interesse no assunto de propriedade do subsolo ao longo dos últimos anos, devido à implementação planejada de vários projetos de transporte de massa em grande escala nas principais cidades do país. Estes planos incluem a construção de grandes projetos de tráfego sob áreas públicas e privadas. Estes projetos serão operados e mantidos pelas autoridades públicas e pelas empresas privadas - entre eles corporações multinacionais selecionadas de licitações públicas que vão colher os lucros gerados pelo funcionamento destes projetos (SANDBERG, 2003).

O caso da construção do *Carmel Tunnel* é bastante singular, pois a decisão sobre o direito de propriedade no subsolo do Monte Carmelo – uma área de alta densidade populacional na cidade de Haifa, ao norte de Israel – foi parar na Suprema Corte daquele país, que decidiu favoravelmente à desvinculação da propriedade entre a superfície e o subsolo desde que houvesse interesse social e que nada além do necessário fosse desapropriado. A decisão da Suprema Corte contrariava o entendimento pacificado na lei, e ancorado no livro sagrado judaico Talmude, de que a propriedade se estende "da profundidade da terra até a altura do céu", e abriu espaço para a elaboração de um modelo de dados tridimensional para o Cadastro israelense (SANDBERG, 2003).

A solução adotada em Israel lançou mão do conceito de sub-parcelas espaciais. As parcelas territoriais permaneceram inalteradas, com o entendimento de que o direito de propriedade se estende do centro da Terra ao infinito de espaço (modelo cônico), com uma faixa onde este direito pode ser exercido abaixo ou acima da superfície. Tal faixa não está exatamente clara, mas este conceito consegue conviver com a decisão da Suprema Corte sobre a separação da propriedade na superfície e no subsolo.

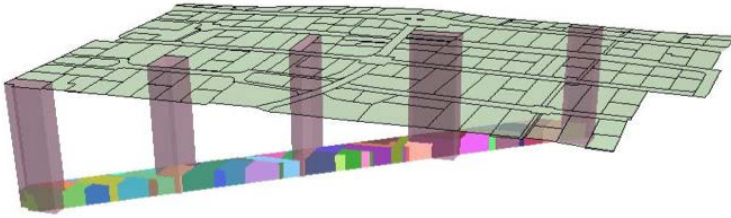


Figura 25 - Sub-parcelas espaciais criadas a partir da implantação do projeto do Carmel Tunnel, Haifa, Israel. Fonte: Forrai e Kirschner (2003).

O conceito da sub-parcela espacial é o de que a parcela territorial (e, portanto, o cone que lhe está associado) pode ser dividida em parcelas de volumes menores. Qualquer projeto estabelecido em uma das sub-parcelas espaciais (acima ou abaixo da superfície) será delimitado e definido estereometricamente por um contorno 3D final e seu volume. Um projeto espacial, que se prolongue acima ou abaixo de um certo número de parcelas territoriais, irá, assim, ser subdividida em sub-pacotes espaciais, de acordo com as parcelas territoriais existentes. Se necessário, será possível consolidar as sub-parcelas espaciais, dentro de um bloco de registro, em uma única parcela espacial (SHOSHANI *et al.*, 2004). Tal conceito corresponde a uma das alternativas de modelo híbrido de Cadastro 3D apresentado por Oosterom (2004).

As Figuras 26, 27 e 28 mostram um túnel com cerca de 350m de extensão atribuído aos cavaleiros templários sob a cidade de Acre e a respectiva divisão das parcelas territoriais em sub-parcelas espaciais.



Figura 26 - Fotografia do túnel templário sob a cidade de Acre, Israel.

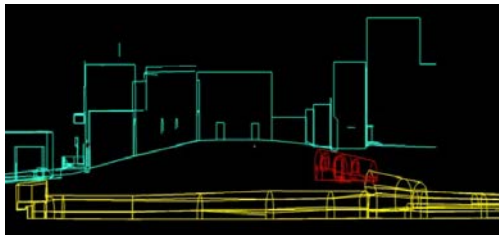


Figura 27 - Perfil longitudinal do túnel templário e das construções na superfície topográfica. Fonte: Shoshani et al., 2004.

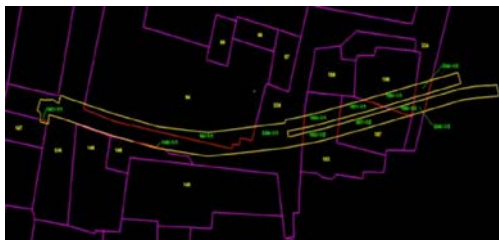


Figura 28 - Sub-parcelas espaciais no túnel templário em Acre, Israel. Fonte: Shoshani et al., 2004.

## 2.5.6 Holanda

No Código Civil holandês está presente o mesmo princípio comum internacionalmente sobre o qual a propriedade se estende do centro da Terra aos limites do céu, mas há exceções nos casos em que o uso acima ou abaixo da superfície seja exercido por terceiros desde que em comum acordo com o proprietário.

As soluções encontradas no Cadastro holandês são administrativas, reduzindo as situações em 3D para o particionamento do país em parcelas territoriais. O atual registro cadastral é baseado nas relações de propriedade em uma coluna, sendo a parcela territorial a entrada do registro. Uma divisão horizontal no *status* legal da propriedade é feita através da criação e registro de 'direitos' e 'direitos limitados' sobre as parcelas. Um objeto 3D em si não pode ser definido como um objeto de Cadastro, ser lançado na carta cadastral e nem ser usado como uma base para o registro. No sistema de registro cadastral holandês (no que diz respeito às propriedades territoriais) um objeto cadastral é um objeto imobiliário compondo uma parcela completa, parte de uma parcela ou um direito de condomínio. De acordo com a lei holandesa não é possível dividir a propriedade da terra, como tal, por

exemplo, através da criação de propriedade de volumes 3D ou venda de um edifício sem terra. A legislação holandesa permite que o direito de propriedade seja registrado com restrições e responsabilidades diferentes, limitados ou irrestritos, associados apenas a parcelas territoriais. Contudo, direitos de propriedade em múltiplos níveis ainda podem ser criados através do estabelecimento de direitos de condomínio e direitos reais limitados: superfície, enfiteuse e servidão. (Stoter e Zevenbergen, 2001; Stoter *et al.*, 2011).



Figura 29 - Construção com sobreposição de direitos de propriedade. À esquerda, fotografia da fachada. No centro, planta do térreo. À direita, plantas adicionadas ao título.

Existem basicamente alguns requisitos para indicar os limites em 3D para os direitos a serem registrados no título. A lei exige o registro de uma planta separada por andar nos registros prediais. Estas plantas fornecem uma visão geral do terreno e do(s) edifício(s), e mostram os limites das unidades individuais. No entanto, isso nem sempre mostra claramente a situação da propriedade em múltiplos níveis. No caso de um grande complexo de edifícios isso pode exigir um exercício mental para reconstruir a situação completa da propriedade com base de um grande número de plantas (Stoter *et al.*, 2011).

As Figuras 30 e 31 ilustram os conceitos acima mencionados. Conforme visto em Stoter *et al.* (2011), três parcelas foram necessárias para registrar o *status* legal do edifício da empresa Nationale-Nederlanden, construído sobre a rodovia Utrechtsbaan na cidade de Haia. A empresa é detentora de todo o edifício. O município possui um direito limitado de propriedade sobre parcelas 1719 e 1720 e a empresa possui um direito de propriedade irrestrito sobre parcela a 1718 e direito de superfície sobre parcela de 1719. A situação demonstra como as

relações de propriedade na dimensão vertical em múltiplos níveis são registradas com base na divisão do território em parcelas 2D.



Figura 30 - Edifício da empresa Nationale-Nederlanden sobre a rodovia Utrechtsbaan, Haia, Holanda. Fonte: Google Earth.

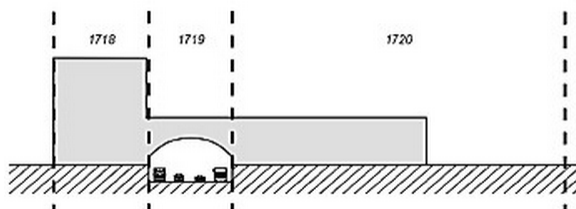


Figura 31 - Representação esquemática das parcelas territoriais. Fonte: Stoter e Zevenbergen, 2001.

### 2.5.7 Noruega

A Noruega tem um substrato geológico bastante sólido. Túneis para estradas, trens e água perfurados na subsuperfície não influenciam o valor econômico da propriedade de superfície e, portanto, são prática comum na Noruega sem subdivisão nem registro formal no Cadastro e no Livro da Terra (registro norueguês). Os proprietários de imóveis na superfície só são compensados financeiramente se a propriedade for danificada de alguma forma (STOTER *et al.*, 2004a).

Desde os anos 1980 já era possível registrar direitos e restrições relacionados a propriedades fora da superfície, sobretudo abaixo desta, entretanto, sempre atrelados à parcela territorial. No início dos anos 1990, a possibilidade de implementação formal e legal de propriedades 3D foi listada como uma questão importante para a melhoria da

legislação cadastral, uma vez que o quadro jurídico atual não previa a criação de unidades de propriedade 3D com direitos separados de uma parcela territorial. Esperava-se que os investidores estivessem mais dispostos a investir dinheiro na propriedade registrada, dada a maior segurança jurídica, que em todos os tipos de direitos limitados que eram usadas atualmente para estabelecer propriedade estratificada (VALSTAD, 2006).

A comissão criada para os estudos concluiu que três tipos de propriedade 3D poderiam ser criadas:

- i. Volumes abaixo da superfície, tais como estacionamentos subterrâneos, áreas comerciais, túneis, etc.;
- ii. Edifícios e outras construções erguidas sobre pilares ou por outros meios acima da superfície, em sua maioria acima estradas ou vias férreas; e,
- iii. Construções sobre colunas mar ou outros corpos d'água.

Os esforços da comissão de estudos sobre legislação cadastral só renderam frutos no ano de 2010, com a publicação de uma nova lei que modernizou o Cadastro na Noruega. De especial interesse na nova lei, é a possibilidade de conceber parcelas especiais de construção. Isto é, parcelas 3D que podem ser estabelecidas acima ou abaixo da parcela territorial e em múltiplas camadas. Mas estas parcelas 3D só podem ser estabelecidas em construções reais ou aprovadas. Não se pode ocupar com parcelas espaciais vazios como o ar ou rocha para futuros desenvolvimentos. A nova lei também tem mais ênfase na qualidade e do acesso aos mapas cadastrais e registros (VALSTAD, 2010).

Em relação à identificação parcelar, toda a terra em um dado município é dividido em número fixo de grandes áreas e cada um é dado um número de registro principal. A cidade de Oslo, por exemplo, é dividida em cerca de 250 áreas. Estas áreas são então subdivididas em parcelas e numeradas em sucessão por um número de parcela (código). Dentro de um município uma parcela é identificada exclusivamente com um código de área e o número de parcela, oito dígitos no total. Em nível nacional mais quatro dígitos são adicionados para identificar o município.

A uma parcela subterrânea é dado o mesmo número de área que a parcela sobre a superfície, mas com o número 300 adicionado. O número da parcela começa em 1. Isso dá a cada parcela subterrânea uma identificação distinta e com um relacionamento com a parcela territorial também. Códigos entre 601 e 900 são reservados para parcelas acima do solo. O sistema faz, portanto, provisões para subdivisão das parcelas abaixo e acima da superfície (VALSTAD, 2010).



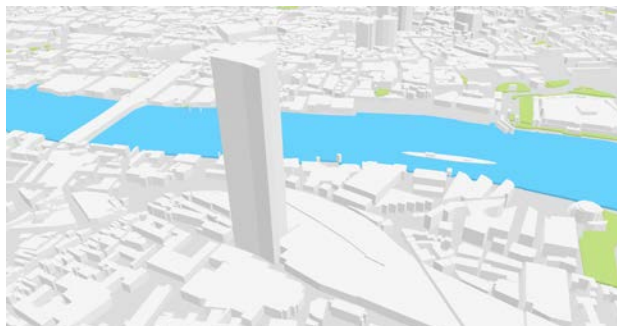


Figura 32 - Modelo 3D de Oslo, Noruega. Fonte: Valstad, 2010.

A subdivisão das parcelas subterrâneas decorre, em parte, dos mesmos procedimentos que para as parcelas de superfície. O titular na superfície tem que abdicar de seus direitos para o subterrâneo. Na Noruega não foi estabelecida uma profundidade finito de propriedade.

Valstad (2010) afirma que como o direito de propriedade 3D está associado a parcelas espaciais estabelecidas em áreas construídas, não é possível realizar os devidos levantamentos cadastrais de antemão, e o Cadastro norueguês é obrigado a aceitar os projetos e desenhos do requerente, juntamente com um certificado de levantamento emitido por um profissional. A seção de Levantamento Cadastral emprega, posteriormente, métodos de levantamento terrestre com o emprego de estações totais capazes de medir sem prisma para atualizar as dimensões da parcela espacial a fim de identificar os volumes exatos. Na certidão final de levantamento, a cada canto são atribuídas coordenadas planas e altitude para o chão e para o teto. O número de registro e o levantamento identificará a parcela como um volume, mas em diferentes registros o tamanho das parcelas é dado em metros quadrados e não em metros cúbicos.

### **2.5.8 Austrália**

Em Queensland, na Austrália, o registro 3D foi parcialmente resolvido. Desde 1997, é possível criar parcelas espaciais. Como é tradicional entre os países de origem anglo-saxônica, o quadro jurídico de Queensland, se originou a partir de '*Common Law*' e a jurisprudência permitiu a possibilidade de criação de unidades de propriedade 3D. No entanto, o Cadastro inclui somente a projeção dessas parcelas espaciais no mapa cadastral e, portanto, a questão cadastral das unidades de

propriedade 3D (do ponto de vista da situação da propriedade 3D e registro dos direitos sobre volumes) não está totalmente resolvida em Queensland.

Stoter *et al.* (2004a) afirma que para a Lei de Títulos de Terras de Queensland uma parcela padrão (definida em 2D, mas que implica em uma coluna 3D) é um lote (ou um conjunto de lotes), que são ilimitados em altura e profundidade. Afora estas parcelas 'sem restrições', quatro parcelas com um componente 3D podem ser distinguidas:

- i. Parcelas de construção, que são parcelas geralmente definidas pelo chão, paredes e tetos;
- ii. Parcelas restritas, que sofrem restrição em altura ou profundidade por uma distância definida abaixo da superfície ou por um plano (servidões restritas também podem ser restringidas em altura e profundidade): os limites das parcelas restritas coincidem necessariamente com os limites da parcela territorial;
- iii. Parcelas volumétricas (espaciais), que são parcelas que estão totalmente limitados por superfícies e são, portanto, independentes dos limites 2D das parcelas territoriais; e,
- iv. Parcelas restantes, que são as parcelas que permanecem depois de uma parcela espacial ou de construção tenha sido subdividida fora dela.

Uma parcela padrão pode ser subdividida por meio de três formatos diferentes de planos de levantamento: padrão, de construção ou de formato volumétrico.

Para as parcelas padrão e parcelas restritas são utilizados planos de formato padrão que definem a extensão da parcela usando planos horizontais e referências a marcos terrestres. Em caso de parcelas padrão, a parcela desenhada refere-se a toda a coluna.

Os planos de formato de construção definem a extensão das parcelas de construção usando os elementos estruturais da própria construção, incluindo pisos, paredes e tetos. A parcela é subdividida em pelo menos duas unidades de construção (lotes) e uma propriedade comum (que é compartilhada). A propriedade comum está ligada às unidades e não às pessoas que possuem as unidades.

Um plano de formato volumétrico define uma extensão usando pontos 3D para identificar a posição, formato e as dimensões de cada superfície delimitadora e é utilizada para refletir parcelas volumétricas (espaciais). Uma parcela volumétrica é uma parcela totalmente limitada por superfícies (que podem ser diferentes da vertical ou horizontal) e são superiores, inferiores ou parcialmente acima e parcialmente abaixo da

superfície topográfica. O uso e finalidade das parcelas volumétricas são determinados pelo governo local e outras legislações. Uma parcela volumétrica pode ser estabelecida cruzando várias outras parcelas.

A altitude usada para definir parcelas volumétricas não pode ser definida de forma relativa, a partir de uma construção ou da superfície, mas referenciadas a estrutura de marcos existentes do *Datum* altimétrico australiano. Os vértices dos cantos devem ser obtidos por métodos terrestres com coordenadas polares referenciados ao *Datum* planimétrico australiano para, posteriormente, serem armazenados em coordenadas retangulares. Cada volume deve fornecer uma área, a qual é a área da projeção da parcela, e um volume em metros cúbicos. As descrições 3D são mantidas nos títulos do registro, enquanto uma projeção da parcela volumétrica é mostrada no mapa cadastral.

Como exemplo, Stoter *et al.* (2004a) apresenta o caso do The Gabba Cricket Stadium na cidade de Brisbane. A construção do estádio terminou por interceptar verticalmente as parcelas formadas pelos logradouros em sua lateral. Três propriedades 3D foram estabelecidas: uma para o cruzamento com a Vulture Street e outras duas parcelas volumétricas para o cruzamento com a Stanley Street. Todas as três parcelas são propriedades arrendadas. Isto significa que o titular do imóvel tem o direito de uso e posse exclusiva da propriedade por tempo determinado, que é comparável à direita da enfiteuse. As Figuras 33 a 35 ilustram o caso.



Figura 33 - The Gabba Cricket Stadium, Brisbane, Austrália. À esquerda, construção sobre a Vulture Street; à direita, sobre a Stanley Street. Fonte: Google Earth.

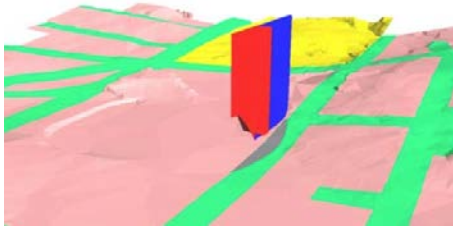


Figura 34 - Visualização da sobreposição do estádio sobre o logradouro. Fonte: Stoter et al. (2004a).

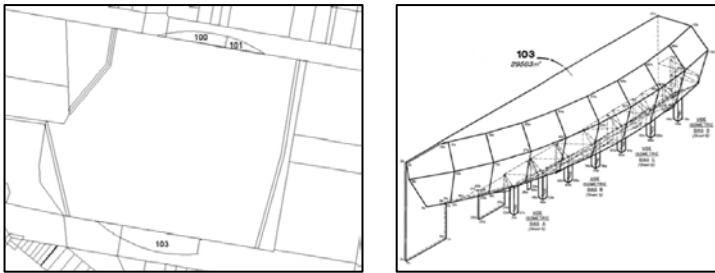


Figura 35 - À esquerda, mapa cadastral com a representação da projeção das parcelas espaciais. À direita, exemplo de diagrama 3D adicionando ao título da parcela espacial. Fonte: Stoter *et al.* (2004a).

## 2.5.9 Canadá

O Ministério dos Recursos Naturais e da Fauna (MRNF) é o órgão responsável pelo gerenciamento e manutenção da infraestrutura de registro da terra no Canadá. De acordo com Stoter *et al.* (2004a), na província de British Columbia, Canadá, um proprietário tem o direito de dividir o espaço aéreo sobre a sua parcela com base na Lei de Titulação de Terras. A parcela do espaço aéreo pode se estender ou existir completamente abaixo da superfície também. Para cada subdivisão deve ser criada uma planta em 2D sobreposta a planta cadastral. Cada nova parcela 3D tem que ser criada nos limites de uma parcela territorial convencional existente. A concessão de uma parcela espacial não impõe quaisquer obstáculos que limitem o uso da terra do outorgante. O título concedido para o subsolo e o espaço aéreo acima e abaixo da parcela espacial permanecem na posse do outorgante. Isto significa que uma servidão tem de ser criada separadamente se o acesso à parcela espacial recém-criado for necessária. Uma altitude geodésica (valor absoluto) é

necessária e deve ser observado em, pelo menos, um dos cantos da parcela territorial e para cada canto ou ângulo da parcela do espaço aéreo subdividido. Parcelas do espaço aéreo podem ser usadas para propriedade estratificada, mas também para fins de mais tarde garantir um direito de visibilidade que beneficie uma parcela próxima a uma construção planejada.

Na província de Quebec, de maneira semelhante às demais províncias canadenses, há um forte componente gráfico no sistema cadastral. A planta cadastral é um documento bastante importante do sistema no qual além da descrição dos limites e da identificação das parcelas estão presentes também as suas dimensões e área (Figura 36). Como parte do sistema de registro de Quebec a planta cadastral executa um importante papel para a matrícula, a representação das propriedades e, assim, a gestão de direitos, responsabilidades e restrições associados a ela. Ele também serve para estabelecer impostos sobre a propriedade, para auxiliar tarefas de planejamento e gestão urbanas (por exemplo, serviços de utilidade pública) e poderia ser subsidiar a aplicação de várias leis e regulamentos. Em algumas situações em que existem propriedades sobrepostas (como condomínios) a planta cadastral 2D clássica não é suficiente para representar totalmente a largura, comprimento e altura das propriedades. É por isso que as instruções cadastrais do MRNF incluem um *status* específico chamado "cadastro vertical". Em resumo o Cadastro vertical permite a representação dos limites verticais da propriedade, na situação específica dos vários usos do espaço (POULIOT *et al.*, 2010; POULIOT *et al.*, 2013).



Figura 36 - Típica planta cadastral canadense. Fonte: Pouliot et al. (2010).

Para ser capaz de distinguir esta terceira dimensão, na planta cadastral as parcelas do Cadastro vertical deverão indicar a existência de uma planta complementar (*Plan Complémentaire - PC*), como na Figura

37. As PC são criadas por agrimensores (empresas privadas) que fizeram o trabalho de medição das propriedades e seu desenho. As empresas privadas normalmente armazenaram a PC original como um arquivo vetoriais (CAD – Computer Aided Design), mas este não é disponibilizado para outros usuários e permanece pertencente à empresa privada. Os usuários finais da PC só tem acesso a uma imagem do desenho, como apresentado na Figura 38 (POULIOT *et al.*, 2010; POULIOT *et al.*, 2013).

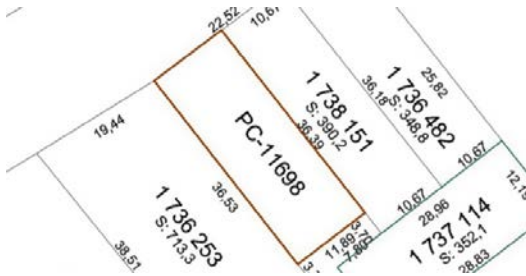


Figura 37 - Indicação de existência de planta complementar no Cadastro de Quebec, Canadá. Fonte: Pouliot et al. (2013).

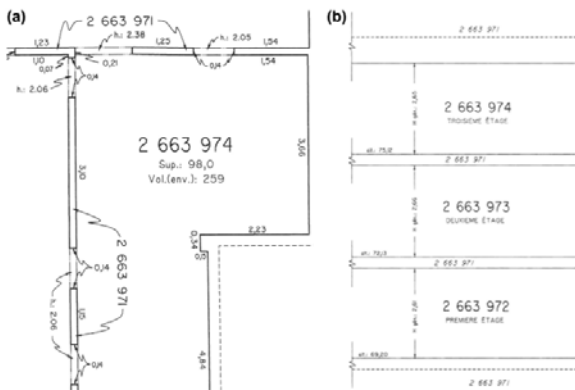


Figura 38 - Exemplo de imagens da PC: planta baixa do segundo andar (a) e perfil vertical das propriedades sobrepostas (b) e. Fonte: Pouliot et al. (2013).

No momento, há um movimento de reforma cadastral no Canadá e o Cadastro 3D tem sido pauta constante. Vários esforços técnicos no campo da modelagem cadastral têm sido empreendidos para alcançar uma maior eficiência na integração e utilização das bases de dados (tanto plantas cadastrais convencionais como plantas complementares) e

promover aplicações relacionadas ao direito de propriedade (interesse particular nos condomínios) e representação tridimensional de cidades. As Figuras 39 e 40 ilustram exemplos de aplicações em desenvolvimento no Cadastro canadense relacionadas à terceira dimensão.

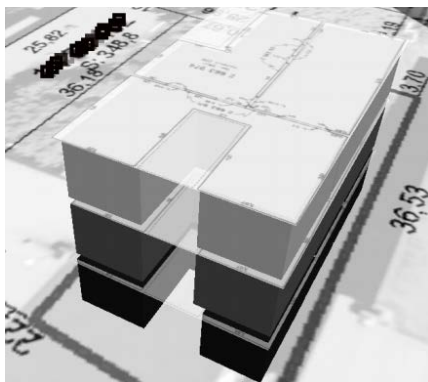


Figura 39 - Modelo volumétrico de condomínio com 3 apartamentos com base em planta complementar, Quebec, Canadá. Fonte: Pouliot et al. (2010).



Figura 40 - Imagem aérea (esq.) e correspondente modelo 3D do bairro La Cité-Limoilou, Quebec, Canadá. Fonte: Pouliot et al. (2010).

### 2.5.10 Dinamarca

Como nos demais países, o Cadastro dinamarquês começou originalmente como um sistema de apoio à coleta de impostos sobre a terra. Entretanto, atualmente, o seu principal objetivo é apoiar um mercado imobiliário eficiente, bem como fornecer uma base para a gestão territorial apropriada, o que justifica o interesse pela precisa identificação e individualização da propriedade 3D (VALSTAD, 2006).

De acordo com Stoter *et al.* (2004b), a atividade cadastral e de registro na Dinamarca é composta por quatro elementos, sendo eles o registro de bens imóveis e parcelas territoriais, o mapa cadastral, as folhas de medição relacionadas às áreas de fronteira e o registro dos pontos de controle usados para levantamentos cadastrais. As atividades de Cadastro e registro na Dinamarca são fragmentadas em quatro instâncias diferentes e possuem forte ligação com o mapa cadastral, o que denota a sedimentação do modelo bidimensional. As instâncias referidas são:

- i. O Cadastro, mantido pela agência de Levantamento e Cadastro Nacional, subordinada ao Ministério do Meio Ambiente;
- ii. O registro da terra (*Land Book*), que é um registro de direitos de propriedade sobre bens imóveis sob a responsabilidade do Ministério da Justiça;
- iii. Os registros de construção e habitação, mantidos pelos municípios; e,
- iv. Os registros de avaliação, também mantidos pelos municípios, para registrar valorização das propriedades individuais.

Para Valstad (2006) a fragmentação acima apontada é um dos obstáculos à implementação de uma modelagem tridimensional que promoveria uma sensível melhoria do Cadastro dinamarquês. Tal pensamento é corroborado por Sorensen (2011) que aponta ainda como consequência a dificuldade em se obter informações sobre os imóveis em geral, já que as estas não são acessíveis facilmente.

Stoter *et al.* (2004b) afirma que no cenário cadastral dinamarquês os direitos não são registrados diretamente no Cadastro, no entanto, informação espacial 2D e 3D sobre os direitos limitados (qual o espaço para o qual se aplica um direito) pode ser adicionada no título de propriedade. Valstad (2006) complementa este apontamento afirmando que o Cadastro dinamarquês em si não contém qualquer informação sobre situações em 3D e que este não mantém informações sobre os diferentes tipos de uso da terra na parcela (apenas o principal uso de uma parcela é mantida) nem informações sobre os direitos, restrições e responsabilidades (à exceção das restrições públicas). Na esfera do Direito Público, as servidões públicas (aquelas nas quais uma autoridade pública é a proprietária) são registradas no registro de terras. Entretanto, as localizações destas restrições não são (na maioria dos casos) visíveis no mapa cadastral nem são disponíveis em outras partes do sistema cadastral.



Na Dinamarca há um interesse particular bastante crescente, como no caso da Suécia, em relação à individualização do direito de propriedade de apartamentos em condomínios, mas também há interesse no cadastramento de objetos de infraestrutura como túneis e tubulações (STOTER *et al.*, 2004b; VALSTAD, 2006; SORENSEN, 2011).

Há três tipos distintos de unidades de apartamentos, que tem sido vistos como uma boa possibilidade para o desenvolvimento de projetos de modelagem cadastral e futura implementação de um Cadastro 3D. São elas:

- i. Propriedade individual de todo as unidades: normalmente as unidades são destinadas a aluguel;
- ii. Propriedade coletiva do complexo: uma associação ou cooperativa habitacional é a proprietária e fornece a cada membro o direito de utilização de uma unidade (propriedade indireta), mas não é possível hipotecar individualmente uma delas; e,
- iii. Propriedade individual de unidades: cada unidade é de propriedade de pessoas distintas (propriedade direta) e as partes comuns são mantidas em co-propriedade.

De acordo com a legislação dinamarquesa, nos três casos o Cadastro armazena apenas as informações da parcela territorial, não fazendo menção à existência das unidades. O registro (*Land Book*) é que fica encarregado de armazenar as informações referentes à individualização da propriedade ou à sua coletividade. O registro de habitação (*building and dwelling registration*) pode subsidiar os processos de desmembramentos de unidades (SOERSEN, 2011).

A Figura 41 apresenta um estudo com finalidade de implementação das informações de terceira dimensão no Cadastro dinamarquês.



Figura 41 - Estudo para individualização de unidades em prédio na cidade de Copenhagen, Dinamarca. Fonte: Stoter et al. (2004b).

### **2.5.11 Trindade e Tobago**

O sistema cadastral de Trinidad e Tobago é composto por um conjunto de mapas cadastrais indexados que foram parcialmente transferidos para um sistema digital e que atualmente ainda encontra-se incompleto e possui baixa precisão espacial. Estima-se que esta componente gráfica não está ligada aos documentos de matrícula comprovativos da propriedade em cerca de 70% das parcelas existentes (GRIFFITH-CHARLES e SUTHERLAND, 2013).

Nos últimos 30 anos houve um acelerado crescimento urbano e proliferou a construção de complexos de condomínios levando a problemas ligados à representação estratificada da propriedade. Uma legislação de condomínios foi elaborada na década de 1980 para resolver o problema, mas nunca foi promulgada. Tentativas mais recentes foram feitas para concluir a legislação com pouco sucesso devido à inter-relação complicada entre esta e outra legislação relacionada com a terra. Títulos estratificados são negociados atualmente através do estabelecimento de uma empresa de gerenciamento de todos os proprietários do condomínio sobre a parcela, que representa os interesses para dos proprietários individuais. A implementação de um Cadastro 3D exigirá, portanto, uma legislação abrangente para abordar as questões de como unidades de parcelas devem ser descritas, registradas, transmitidas, gerenciadas e os direitos e restrições controladas (GRIFFITH-CHARLES e SUTHERLAND, 2013).

Griffith-Charles e Sutherland (2013) apresentaram um estudo recente de análise de custo benefício e mostraram que, para o cenário daquele país, os benefícios de implementação de um Cadastro 3D (cuja alternativa ideal apontada pelos autores tratava-se um modelo híbrido 2D/3D) superavam os custos. Embora o país não possua um Cadastro territorial estruturado nos moldes dos países europeus, o estudo demonstra o interesse crescente ao redor do mundo e a procura por soluções economicamente, tecnicamente e legalmente viáveis de inserção da terceira dimensão no Cadastro.

### **2.5.12 China**

Na China a gestão da rápida urbanização, um dos sinais e motores de desenvolvimento econômico, tem sido uma questão fundamental. Como um país em desenvolvimento com uma população muito grande, o acelerado desenvolvimento econômico da China certamente reduziu a

pobreza, apesar de cerca de 90 milhões de seus habitantes ainda estarem abaixo da linha de pobreza. No entanto, o conflito entre crescimento urbano e limitados recursos terrestres tem se tornado cada vez mais evidente; com efeito, o desenvolvimento urbano chinês atual, que assume a forma expansionista, não é sustentável a preços acessíveis, o que requer mudança nos padrões de uso da terra (GUO *et al.*, 2013).

Para enfrentar este desafio, as cidades mais desenvolvidas, como Xangai, Guangzhou e Shenzhen passaram a explorar há vários anos o uso vertical do espaço de terra, ou seja, o espaço acima e abaixo da superfície das parcelas territoriais. No entanto, a tecnologia cadastral bidimensional tradicional provou ser deficiente na gestão destes espaços urbanos de recém-concebidos. Assim, o Cadastro 3D está emergindo na China como um meio eficaz para apoiar a administração do espaço em três dimensões (GUO *et al.*, 2013).

Guo *et al.* (2013) apresentam alguns situações na cidade de Shenzhen nas quais o Cadastro territorial não conseguiu registrar de maneira adequada a sobreposição de direitos e restrições. Um primeiro exemplo de usos da terra em múltiplas camadas data de 2005 com a implantação de um complexo de edifícios, chamado *Tanglangshan*, integrado com uma estação do metrô da cidade. Na superfície está a estação do metrô; acima da superfície, o complexo de edifícios residenciais; e, abaixo da superfície, os túneis por onde circulam os trens. Três diferentes propostas para o registro bidimensional do complexo foram analisadas, sendo que cada uma delas apresentava vantagens (facilidade de registro, manutenção da estrutura cadastral já existente) e desvantagens (complexidade da operação cadastral, incompletude ou imprecisão do registro, má representação, entre outras). As soluções foram: i) o registro da parcela territorial apenas do uso considerado primário e anotação dos demais tipos de uso como secundários; ii) divisão do espaço vertical em múltiplas camadas e registro dos diferentes tipos de uso em cada uma delas; e, iii) combinação dos diferentes tipos de uso num novo tipo e registro de uma única parcela. Obviamente, a complexidade da situação impediu que qualquer destas soluções fosse adotada e os técnicos indicaram a necessidade de modelagem de um Cadastro 3D que viesse a atender o caso em questão. A Figura 42 mostra uma vista em perfil do complexo *Tanglangshan* com destaque para o nível de superfície onde fica a estação do metrô (em vermelho) e para o nível de sobre-superfície onde ficam os edifícios residenciais (em azul).



Figura 42 - Vista em perfil do complexo Tanglangshan, Shenzhen, China. Fonte: Guo *et al.* (2013).

Ainda na cidade de Shenzhen, os referidos autores apresentam o caso de outro complexo de edifícios chamado *Wanxiangcheng*. Ali se reúnem vários edifícios em que as marcas internacionais são vendidas e, entre estes, as suas duas construções principais são separados por uma estrada municipal e ligados por uma estrutura em arco que a atravessa. Há também um estacionamento subterrâneo e lojas comerciais. Os edifícios, o arco e a garagem subterrânea têm o mesmo proprietário, mas o espaço de terra sobre o arco, uma passarela (uma espécie de servidão), pertence ao município. As lojas subterrâneas acima do estacionamento são de propriedade de indivíduos diferentes (Figura 43). Conforme concluem os autores, estes casos mostram o quão difícil é esclarecer as relações espaciais complexas de direitos de propriedade num mapa cadastral tradicional em duas dimensões e, ainda, que nenhuma das soluções anteriormente mencionadas conseguiu tratar adequadamente esta complicada situação em particular.

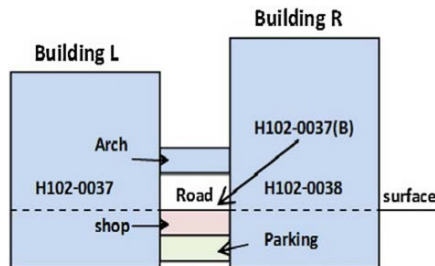


Figura 43 - Perfil esquemático do complexo Wanxiangcheng, Shenzhen, China. Fonte: Guo *et al.* (2013).

Um outro exemplo apresentado por Guo *et al.* (2013) diz respeito aos leilões de terra realizados para a instalação de benfeitorias públicas. Em 2011, a administração de Shenzhen leiloou um espaço subterrâneo para estacionamento de veículos. A parcela da superfície já estava designada para uso público como “área verde”. De acordo com o esboço do planejamento, duas camadas de cerca de 16.000 m<sup>2</sup> (cada) deveriam ser construídas no subsolo. A partir de uma análise de Cadastro 3D, a sua extensão espacial pode ser facilmente descrita nos documentos publicados, em conjunto com outras informações geográficas. A Figura 44 mostra um extrato dos documentos publicados no site oficial de licitação. A representação 3D ofereceu uma orientação mais clara e menos ambígua para os projetistas e desenvolvedores fazerem bom uso do espaço. Ao aplicar o sistema cadastral 3D quando a construção estiver concluída, estes dados tridimensionais para o espaço subterrâneo também poderão ser usados para verificar a conformidade da construção subterrânea para o esboço de projeto.

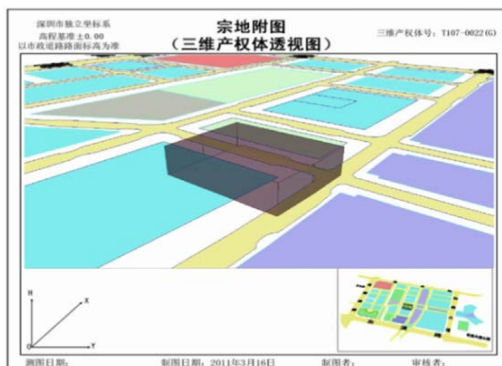


Figura 44 - Atributos espaciais publicados no site do leilão público. Fonte: Guo *et al.* (2013).

Embora os autores citados reconheçam que o desenvolvimento de um modelo híbrido seria menos complexo para o Cadastro chinês, também indicam que esta é uma solução paliativa e que não seria de longa duração. Indicam a necessidade de caminhar no sentido de modelos de Cadastro 3D completos, ainda que estes sejam muito mais complexos e não tenham se realizado de forma totalmente operacional em outro país.

### 2.5.13 Alemanha

Na Alemanha, a estrutura cadastral é estadual, mas com modelo federativo, sendo que cada um dos 16 estados mantém representantes no Comitê de Trabalho das Autoridades em Agrimensura dos Estados da República Alemã (AdV). Ao longo dos últimos 10 anos o Cadastro alemão passou por uma atualização para adequação de toda a sua documentação e modelo para o meio digital e, atualmente, a estrutura do sistema cadastral é dividida em 3 partes (GUNDELSWEILER, 2007):

- i. AFIS: o sistema de informação dos pontos da rede geodésica oficial;
- ii. ALKIS: o sistema de informação cadastral oficial; e,
- iii. ATKIS: o sistema de informação cartográfico-topográfico oficial.

O sistema cadastral alemão como um todo ficou conhecido como AAA, numa referência às letras iniciais de cada componente. O sistema AFIS contém informações sobre os pontos geodésicos e sua referência espacial. Os pontos de referência para localização, altitude, gravidade e de estações de referência para GNSS (Posicionamento por Satélite Serviço de Pesquisa Nacional Alemão – SAPOS) são integrados. O sistema ALKIS combina as estruturas dos mapas cadastrais digitais existentes e banco de dados topográficos do ATKIS e integra o mapa cadastral e do registro cadastral digital em um único modelo, que foram separados anteriormente por razões históricas e técnicas. O sistema ATKIS foi desenvolvido para estabelecer e manter *geodatabases* topográficas uniformes em nível federal. Além dos tradicionais mapas topográficos em série dos estados da República Federal, o sistema fornece modelos digitais de superfície adequados para processamento de dados. O ATKIS também pode ser usado como uma base de referência espacial e para a interligação e a combinação com dados geográficos temáticos (GUNDELSWEILER, 2007).

Ao longo dos últimos anos, o Cadastro alemão tem migrado para incorporar a terceira dimensão. Os 16 estados da federação estão em níveis diferentes em relação ao nível de detalhe alcançado na representação tridimensional das unidades cadastrais, variando entre LoD1 e LoD2. O processo de aquisição de dados naquele país combinou uma técnica que envolveu a coleta de dados em muito larga escala utilizando varredura a laser (LiDAR), numa densidade entre 2 a 10 pontos/m<sup>2</sup>, com aerofotogrametria digital vertical e oblíqua para alcançar resultados de até 100 pontos/m<sup>2</sup>, de forma que fosse possível recuperar as formas dos telhados (exigência do LoD2).

Para o Cadastro alemão, o entendimento conceitual de Cadastro 3D está associado à edificação, sendo que todos os edifícios acima do solo são representados por geometrias 3D, e todo o resto permanece 2D. Em 2009, a AdV publicou uma resolução (121/10) relativa às edificações na qual afirmava que um dos objetivos da modernização cadastral alemã era capturar, modelar e fornecer informações sobre construções, incluída aí a terceira dimensão. Este objetivo tornou-se uma tarefa central do levantamento oficial alemão. A intenção da AdV é que os estados possam fornecer modelos 3D das construções até o LoD2, e que a partir deste ponto outros usuários (do setor privado ou público) possam ir além em direção a níveis de detalhamento mais refinados (HEITMANN, 2012; GRUBER *et al.*, 2014).

Com o LoD2 alcançando (modelado parametricamente a partir de um conjunto padrão de feições de telhados usuais), algumas aplicações bastante interessantes dentro do conceito de Cadastro 3D alemão tem sido desenvolvidas. Heitmann (2012) e Gruber *et al.* (2014) destacam duas que foram desenvolvidas para o estado de Nordrhein-Westfalen: mapas de ruído e mapas de insolação. No primeiro caso, a modelagem das edificações em 3D, combinada com um modelo digital de terreno bastante preciso, permitiu a aplicação de um algoritmo que avaliou o ruído nas horas de maior e menor tráfego nas áreas centrais da cidade, com vistas a promover adequações à diretiva europeia de redução de poluição sonora nas áreas urbanas (2002/49/EC). De acordo com tal diretiva, a cada cinco anos os países membros da Comunidade Europeia devem reavaliar os níveis de poluição sonora e adotar medidas para reduzi-la gradualmente. A Figura 45 mostra um dos mapas de ruído gerados a partir da modelagem tridimensional das edificações em Düsseldorf, capital do estado.



Figura 45 - Mapa de ruído de Düsseldorf. Fonte: <http://www.umgebungslaermkartierung.nrw.de/>

O segundo caso também ilustra o nível de detalhamento que o Cadastro 3D alemão tem alcançando. No estado de Nordrhein-Westfalen, a partir da modelagem das edificações com um nível de detalhamento LoD2, com as formas dos telhados recuperadas graças à alta densidade de pontos empregada na combinação entre dados LiDAR e de aerofotogrametria, foram gerados uma série de mapa que permitem calcular o potencial fotovoltaico para geração de energia, o gradiente de temperatura pela ação solar e a incidência de radiação por edificação cadastrada. Este é uma das ações com as quais a Alemanha tentar cumprir a tarefa assumida perante a Comunidade Europeia de diminuir gradativamente o uso de energia atômica – até o fechamento total de suas usinas em 2020 – e reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Por este meio, o Cadastro alemão contribui para a meta fornecendo aos usuários informações sobre quanta energia solar pode ser gerada nos telhados de suas casas (levando em conta a orientação do telhado, sua inclinação e área total), quanto em melhorias para isolamento térmico precisa ser feito, quanto representa o investimento e quanto será gerado de economia. Os mapas são disponíveis aos usuários em geral no site do projeto em <http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/>.

As Figuras 46 a 49 mostram exemplos dos mapas acima referidos. A fim de se ter uma ideia do nível de refinamento dos dados alcançado com a modelagem tridimensional de edificações do Cadastro alemão, clicando sobre qualquer edificação uma nova página no site é aberta na qual o usuário pode visualizar informações e interagir com os resultados sobre qual a melhor porção do telhado para geração de energia solar juntamente uma proposta técnica para instalação de módulos de energia solar (número de módulos, custo total do investimento, potencial de energia a ser gerada e economizada, rendimento, taxa de retorno e tempo de retorno do investimento, e, redução de CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera).



Figura 46 - Potencial fotovoltaico de geração de energia por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte: <http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/>





Figura 47 - Potencial térmico solar por edificação, Düsseldorf, Alemanha.  
 Fonte: <http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/>



Figura 48 - Radiação solar por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte:  
<http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/>

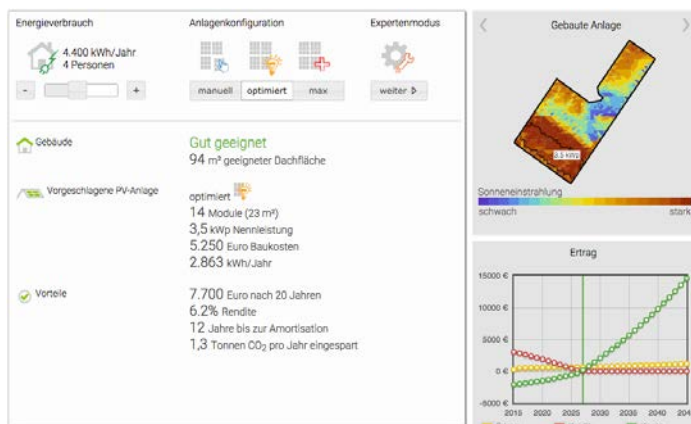


Figura 49 - Detalhamento e sugestão de projeto técnico por edificação, Düsseldorf, Alemanha. Fonte: <http://details.solare-stadt.de/duesseldorf/>

## 2.5.14 América Latina: Brasil, Argentina, México e Venezuela

Na América Latina ainda não há experiências sólidas relacionadas ao Cadastro 3D, entretanto, a exemplo dos demais países ao redor do mundo, é esperado que esta também seja uma tendência que deve

começar a tomar corpo em breves anos. Certamente, este fato decorre do desenvolvimento tardio em muitas áreas do conhecimento – incluído aí o Cadastro – dos países desse bloco continental. Erba e Piumetto (2012) escreveram um interessante artigo de síntese da situação cadastral na América Latina no qual apontam que os sistemas cadastrais ali presentes são decorrentes da herança luso-espanhola baseada no tripé físico-econômico-legal. Destacam ainda que nos últimos anos tem crescido o interesse por abordagens multifinalitárias do Cadastro por parecerem mais adequadas aos processos de tomada de decisão junto aos administradores e aos próprios usuários, e este fator abre espaço para abordagens tridimensionais.

Muito embora a perspectiva cadastral latino-americana seja tradicionalmente bidimensional, Erba e Piumetto (2012) vislumbram o presente momento como adequado para que se iniciem os processos de compilação de legislação e sistematização das definições cadastrais como uma forma de preparar o terreno para futuros Cadastros 3D. Analisam a realidade cadastral dos quatro mais populosos países da América Latina (Brasil, Argentina, México e Venezuela) e apontam algumas particularidades presentes na legislação e suas possíveis interligações com um Cadastro 3D. Sob o ponto de vista da jurisdição sobre o território, cada um dos quatro países apresenta características próprias que se refletem na organização cadastral.

A perspectiva de aplicações de um Cadastro 3D na América Latina é abordada por Erba e Piumetto (2012) sob os aspectos de:

- i) Criação de cidades virtuais 3D: com nível de detalhe suficiente apenas para representar a cidade real geometricamente (LoD1), mas capaz de fornecer uma boa ferramenta para o entendimento da ocupação intensiva do solo urbano nesses países nos quais a informalidade é praticamente uma constante. Ainda, os autores apontam em relação a cidades virtuais 3D, é possível, em alguns casos lançar sobre a representação da cidade real os limites e restrições da cidade legal como forma de analisar o potencial de desenvolvimento baseado na aplicação das regulações urbanas. A Figura 50 mostra um exemplo trazido pelos autores no qual estão representados cidade real e cidade legal.
- ii) Definição de objetos territoriais legais (LLO): a definição de objetos territoriais presentes no documento “Cadastro 2014” (Kaufmann e Steudler, 1998) claramente remete a uma conotação bidimensional, haja

vista os exemplos presentes no documento que confirmam esta visão (parcelas de propriedade privada, áreas de direitos tradicionais, unidades administrativas, como países, estados, distritos e municipalidades, zonas de proteção para água e outros recursos naturais, etc.). A legislação em cada país é diferente, porém os autores, num esforço de compilação, reuniram diversas possibilidades de que objetos territoriais pudessem ser definidos por instrumentos legais, em princípio bidimensionais, com extrapolação ao espaço tridimensional. Foram eles: leis referentes à proteção ambiental e de vizinhança, de mananciais de água, do subsolo, das restrições do espaço aéreo, e das restrições do uso do solo urbano (Figuras 51 a 53).

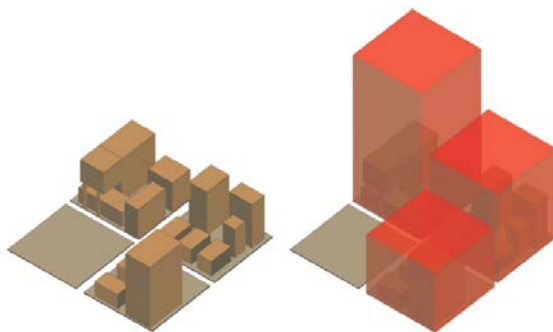


Figura 50 - Cidade real e cidade legal. Fonte: Erba e Piumetto (2012).

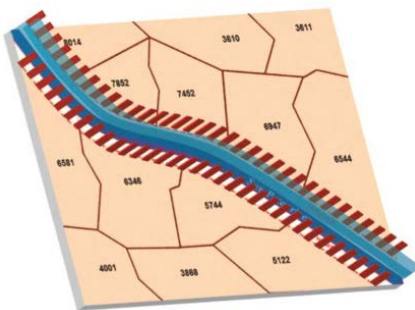


Figura 51 - Proteção de mananciais e margens de corpos d'água. Fonte: Erba e Piumetto (2012).

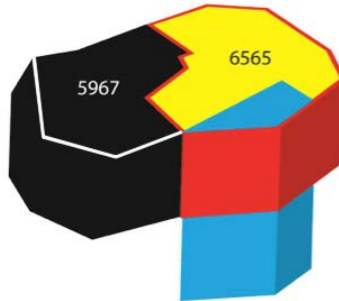


Figura 52 - Exploração do subsolo. Fonte: Erba e Piumetto (2012)



Figura 53 - Restrição do espaço aéreo nas proximidades de aeroportos. Fonte: Erba e Piumetto (2012)

### 2.5.15 Resumo da experiência internacional

Conforme percebido nas seções 2.5.1 a 2.5.14 e em concordância com o que já está indicado na bibliografia referente aos sistemas cadastrais ao redor do mundo, a maioria dos países está em desenvolvimento de alternativas para implementação de seus Cadastros 3D. O modelo mais presente é o híbrido e o LoD1 o mais comum. A maior parte das aplicações está relacionada com a necessidade da definição mais clara dos limites de propriedade, mas há outras aplicações mais específicas referentes à legislação cadastral nos diferentes países.

O Quadro 1 apresenta um resumo do estado atual e das aplicações apontadas na literatura a respeito de Cadastro 3D em diferentes países ao redor do mundo, bem como do nível de detalhe (LoD) alcançado ou proposto para tais aplicações.

Quadro 1 – Aplicações do Cadastro 3D em diferentes países

País	Estado atual	Aplicações	LoD
Alemanha	Implementado via reforma cadastral a partir da década de 2000	Geração de modelos tridimensionais de edificações para cidades digitais, mapas de ruído, mapas de potencial de geração de energia solar	2
Argentina	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Erba e Piumetto, 2012): criação de cidades virtuais, definição de objetos territoriais legais (Lei Nacional de proteção aos glaciais, Código Civil, Código de Mineração, Código Aeronáutico e leis municipais de Uso e Ocupação do Solo)	1
Austrália	Implementado por legislação específica desde 1997	Definição de parcelas espaciais com diferentes configurações sobre e sob a superfície	2
Brasil	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Erba e Piumetto, 2012): criação de cidades virtuais, definição de objetos territoriais legais (apoiadas no Código Florestal, Código das Águas, Constituição Federal, Código Aéreo e leis municipais de Uso e Ocupação do Solo)	1
Canadá	Legislação específica permite registro de parcelas espaciais, mas o Cadastro ainda é limitado	Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície, interesse na representação do “cadastro vertical” de condomínios e cidades 3D	1
China	Legislação específica permite separar o direito de propriedade na vertical	Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície	1

Quadro 1 – Aplicações do Cadastro 3D em diferentes países (continuação)

País	Estado atual	Aplicações	LoD
Dinamarca	Incipiente, em caráter experimental, não há legislação sobre a terceira dimensão, o Cadastro é fragmentado em diferentes instâncias	Sugeridas pela literatura (Stoter <i>et al.</i> , 2004; Valstad, 2006; Sorensen, 2011): individualização de unidades em condomínios no Cadastro, definição do direito de propriedade em túneis e objetos de infraestrutura	1
Grécia	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Papaefthymiou <i>et al.</i> , 2004; Dimopoulou <i>et al.</i> , 2006): resolução de conflitos relacionados ao direito de propriedade na complexa tipologia construtiva grega, registro de estruturas sobrepostas a rodovias públicas	1
Holanda	Em implantação, apoiado num modelo híbrido	Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície	1
Israel	Amparado em instrumentos legais e decisões da Suprema Corte utilizando um modelo híbrido	Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície	1
Macedônia	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Gjorgjiev e Gjorgjiev, 2009): resolução de conflitos relativos ao direito propriedade dissociado entre edificação e parcelas	1
Malásia	Em implementação, apoiado num modelo híbrido	Sugerido pela literatura (Hassan <i>et al.</i> , 2008): Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície	1

Quadro 1 – Aplicações do Cadastro 3D em diferentes países (continuação)

País	Estado atual	Aplicações	LoD
México	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Erba e Piumetto, 2012): criação de cidades virtuais, definição de objetos territoriais legais (leis federais de proteção, equilíbrio e desenvolvimento ambiental sustentável, Lei Nacional da Água, Lei de Mineração, Lei de Aviação Civil)	1
Noruega	Implementado por legislação específica desde 2010	Definição de parcelas espaciais limitadas a edificações sobre e sob a superfície	2
Suécia	Implementado por legislação específica desde 2004	Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície	2
Trindade e Tobago	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Griffith-Charles e Sutherland, 2013): Definição do limite de propriedade multidimensional sobre e sob a superfície	1
Venezuela	Incipiente, em caráter experimental	Sugeridas pela literatura (Erba e Piumetto, 2012): criação de cidades virtuais, definição de objetos territoriais legais (Lei de Gerenciamento de Florestas, Lei de Canais, Lei de Mineração, Lei Aeronáutica Civil, leis de ordenamento urbano e ordenamento territoriais, planos diretores)	1

## 2.6 CENÁRIO PARA O CADASTRO 3D NO BRASIL

Em termos de Cadastro 3D, muito embora o Brasil ainda não possua a estrutura cadastral necessária para uma implantação, a ocupação das áreas urbanas acabará por forçar o surgimento de legislações específicas para tratar a terceira dimensão e regulamentar tanto o uso do espaço aéreo como do subterrâneo.

Destaca-se o caso da cidade do Recife que tem desde 2003 uma lei municipal que regulamenta a instalação de passarelas sobre logradouros públicos. A lei 16.873/03 (Prefeitura do Recife, 2010) assume como competência municipal a concessão de direito sobre o espaço aéreo sobre as vias públicas desde que algumas condições sejam atendidas. Entre elas estão os limites mínimos e máximos de altura sobre o logradouro (tomando como referência o eixo longitudinal da pista de rolamento), as larguras mínimas para a circulação, a exigência de exclusividade de circulação de pedestres, a instalação de estruturas físicas desmontáveis (a concessão é revista a cada 2 anos), a garantia de manutenção da estrutura, a responsabilização do solicitante por danos que possam vir a ser causados pela presença da passarela, a existência de um proprietário comum nos imóveis dos dois lados do logradouro, a vedação da instalação sobre praças, parques e reservas naturais, e o pagamento anual de um valor referente à outorga da concessão do direito de construir sobre via pública ocupando o espaço aéreo da cidade.

Como visto, há uma série de exigências a serem cumpridas, mas existe a possibilidade que a concessão seja efetuada e que, portanto, um direito associado claramente à terceira dimensão seja efetivado. Há dois casos na cidade do Recife relacionados ao uso da lei acima mencionada que merecem nota: o do Hospital Hope (Figuras 54 e 55) e o do Aeroporto Internacional dos Guararapes (Figuras 56 e 57).

No primeiro caso, analisado por Souza *et al.* (2011), apesar da legislação específica, os resultados são desconexos do cadastro fiscal da cidade do Recife, bem como do registro de imóveis.

No segundo caso, a instalação da passarela foi realizada com vistas a fornecer maior mobilidade entre o aeroporto e a estação de metrô mais próxima por ocasião da realização da Copa do Mundo de futebol em 2014, entretanto, vários dos requisitos da própria lei municipal foram descumpridos: o proprietário em ambos os lados não é comum (o aeroporto internacional é administrado pela Infraero e o terminal de integração do metrô pelo governo estadual), a passarela atravessa parte da Praça Salgado Filho, cruza a Av. Mascarenhas de Moraes, parte da Rua Br. de Souza Leão e diversos imóveis particulares (a concessão de uso do espaço aéreo foi outorgado sobre lojas, galpões e condomínios) e a estrutura não é removível.





Figura 54 - Passarela sobre a Av. Beira Rio, Cidade do Recife-PE. Fonte: Google Earth



Figura 55 - Passarela interligando os Hospitais Hope e Esperança, cidade do Recife-PE. Fonte: Google Earth.



Figura 56 - Planta da passarela que liga o Aeroporto Internacional dos Guararapes e estação do metrô, cidade do Recife. Fonte: Governo do Estado de Pernambuco.



Figura 57 - Imagem da passarela sobre a Av. Mascarenhas de Moraes, cidade do Recife-PE. Fonte: Google Earth.

Os casos apresentados acima são emblemáticos por estarem inseridos em uma cidade que possui um instrumento legal o qual pode-se relacionar com uma perspectiva cadastral tridimensional e que dariam excelentes estudos do ponto de vista da definição das parcelas espaciais envolvidas e do direito de propriedade associado a cada uma delas. Entretanto, não são os únicos, já que a urbanização brasileira ocorreu de forma acelerada e a alta demanda por ocupação de espaços no território facilitou a verticalização das cidades e gerou uma infinidade de outros casos, muitos deles em cidades sem o mesmo aparato legal. Abaixo é apresentada uma coleção de fotografias (Figuras 58 a 60) que retrata outras situações em cidades brasileiras nas quais a aplicação de Cadastro 3D permitiria uma melhor definição de direitos, restrições e responsabilidades.



Figura 58 - Colégio Barão do Rio Branco (esq.) e Hospital da Unimed (dir.), Blumenau-SC.



Figura 59 - Passarela entre prédios em condomínio (esq.) e passarela entre Shopping Muller e Hotel Bourbon (dir.), Joinville-SC.

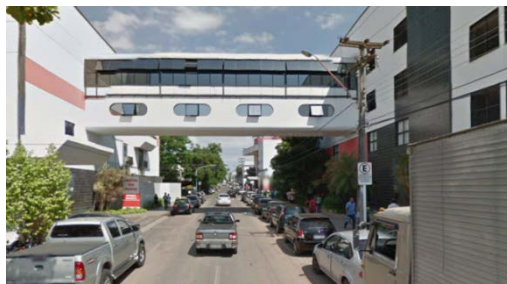


Figura 60 - Hospital São Marcos, Teresina-PI.

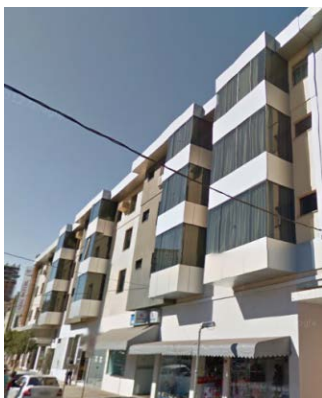


Figura 61 - Hotel com sacadas em balanço sobre passeio público, Pato Branco-PR.

### 2.6.1 Estudos sobre Cadastro 3D no Brasil

Alguns estudos tem sido apresentados para a utilização da terceira dimensão a partir das informações cadastrais 2D em nosso país. Neste item destacam-se alguns deles.

O trabalho apresentado por Arruda e Sá (2006) merece destaque por um dos pioneiros neste sentido ao promover a construção de cenários 3D da cidade com base no número de pavimentos em áreas de alta densidade de ocupação (Figura 62). Este tipo de estudo, apesar de não corresponder ainda a um Cadastro 3D em si é importante pelo pioneirismo e por já inserir alguns conceitos cadastrais como o de parcela. Os resultados mostraram-se consistentes e de valiosa utilidade para planejadores urbanos no contexto onde foram aplicados (cidade do Recife-PE), e abriram espaço para replicação em outras grandes cidades. Este tipo de aplicação torna-se cada vez mais comum entre planejadores e urbanistas cuja visão da cidade “de cima” começa a mudar para uma visão espacial, volumétrica e tridimensional, a qual lhes permite tomar decisões mais apropriadas à realidade (ERBA, 2007).

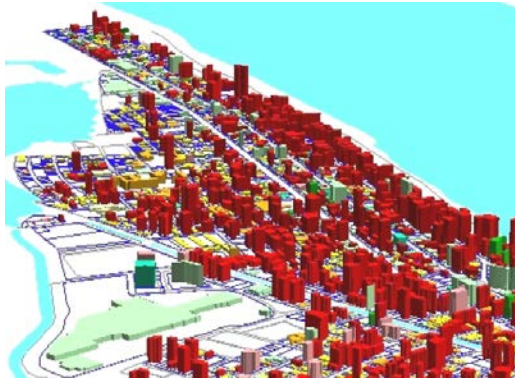


Figura 62 - Vista 3D do bairro Boa Viagem, Recife. Fonte: Adaptado de Arruda e Sá (2006).

Outro trabalho recente foi apresentado por Souza (2011) e Souza e Amorim (2012) sobre a viabilidade de um Cadastro 3D no Brasil. Muito embora a terminologia cadastral esteja presente, os autores defendem a tese os termos Cadastro 3D, 4D e 5D são incorretos. Para os referidos autores a dimensionalidade do Cadastro está associada à multifinalidade, o que contraria toda uma extensa bibliografia internacional sedimentada ao longo de vários anos de pesquisa e produção científica.

O ponto mais forte dos trabalhos apresentados por Souza (2011) e Souza e Amorim (2012) está na integração de dados provenientes de perfilamento a laser aéreo e terrestre com base em algoritmos escritos em C++. Souza (2011) e Souza e Amorim (2012) propuseram ainda a

adoção de um modelo de representação para a parcela espacial na forma de um ‘cilindro quadrático de revolução’ (Figura 63). Esta conformação para a parcela espacial associada a imóveis, apesar de inovadora, não encontra respaldo na literatura internacional que adota para os formatos poliédrico, prismático, ou minimamente planos com altura definida no modelo de extensão de direitos de propriedade. Ainda em relação à representação cilíndrica da parcela espacial, podem-se apontar algumas fragilidades topológicas quanto à definição da forma da parcela territorial (de onde se origina o ‘cilindro’) com base em dimensões regulares e ortogonais de frente e fundo. Esta é uma prática comum e limitada dos cadastros fiscais e memoriais descritivos do registro imobiliário brasileiros (que adotam definições baseadas em distâncias, à exceção do Cadastro rural que adota definições por coordenadas) responsável por gerar grande parte das inconsistências cadastrais e problemas topológicos (como sobreposições e vazios entre parcelas).

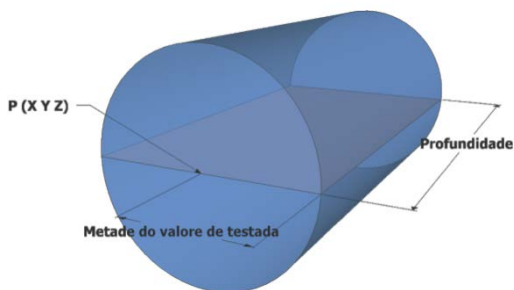


Figura 63 - Modelo cilíndrico proposto por Souza (2011) para o Cadastro 3D brasileiro.

Souza *et al.* (2014) apresentou um estudo sobre a implantação de Cadastro 3D na cidade de Maceió-AL considerando a componente temporal como a terceira dimensão. Neste trabalho, as diversas modificações promovidas numa área de estudo restrita no bairro Ponta Verde foram acompanhadas ao longo de um período de 9 anos, de 2005 a 2013 (Figura 64). Fotografias aéreas e imagens de satélite foram utilizadas para restituir as parcelas e edificações. Souza *et al.* (2014) concluiu que a implantação de um modelo de Cadastro com o acréscimo da componente temporal seria capaz de proporcionar maior segurança ao registro.

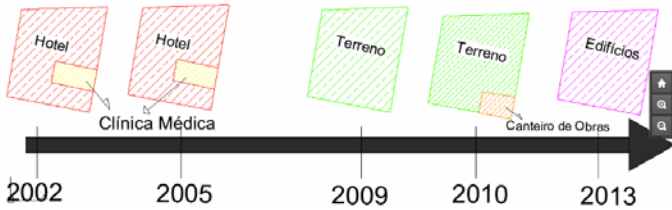


Figura 64 - Acompanhamento de uma das parcelas da na área de estudo do Cadastro 3D em Maceió-AL. Fonte: Souza et al., 2013.

Santana (2014) apresentou os resultados de sua tese que teve como um dos objetivos analisar proposições para um sistema de visualização 3D paramétrico do espaço urbano, inserida no contexto de cidades virtuais utilizando o software CityEngine, da ESRI. Embora o escopo do trabalho não esteja focado em um Cadastro 3D propriamente dito, parte dos resultados alcançados poderia ser considerado pertinente a esta área, haja vista as análises realizadas (como as de atendimento/desatendimento aos parâmetros urbanísticos legais, estoques/déficits construtivos, entre outros) com base na criação de cenários tridimensionais a partir de parcelas e projeção das edificações, que são elementos típicos da carta cadastral (Figura 65). Foram utilizados dados da cidade de Belo Horizonte.

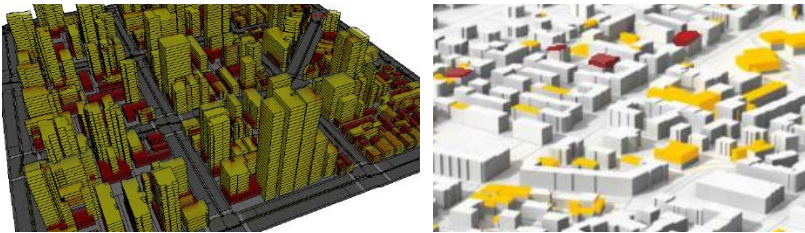


Figura 65 - Análises do espaço urbano: atendimento a parâmetros urbanísticos (esq.) e estoques/déficits construtivos (dir.). Fonte: Adaptado de Santana (2014).

O desenvolvimento do trabalho fornece uma proveitosa contribuição, pois trata de inserir conceitos de parcela à modelagem realizada do mapeamento urbano. A autora dá uma importante contribuição metodológica aos processos gráficos de avaliação urbanística pela geração de análises virtuais tridimensionais, deixando de lado os métodos tradicionais de interpretação abstrata em tabelas ou plantas bidimensionais. Além desta, contribui também dando início à construção de uma biblioteca de regras paramétricas para o software citado.

## 2.6.2 Cadastro 3D e o Estatuto da Cidade

A Lei Federal N° 10.257/2001, o Estatuto da Cidade (Brasil, Presidência da República, 2001), surge no início da década de 2000 como uma resposta do legislativo nacional a um país majoritariamente urbano há cerca de 40 anos e com ocupação em crescente adensamento dos espaços das cidades. Após um longo período de mais de 10 anos de discussões pós-Constituição, foi possível a regulamentação dos artigos 182 e 183 que encerram o capítulo das Políticas Urbanas. Os princípios gerais da função social da cidade e da propriedade urbana, do interesse público a ser atendido pelo uso da propriedade, o bem-estar coletivo e a justiça social já estavam presentes nos dois artigos, entretanto, coube ao Estatuto da Cidade regulamentar as exigências constitucionais e reunir as normas relativas à ação do poder público municipal na regulamentação do uso da propriedade em prol do interesse público (OLIVEIRA, 2001).

Os instrumentos presentes no Estatuto da Cidade diferem entre si de acordo com a sua natureza (jurídica, política, administrativa, fiscal, financeira, econômica), mas alguns se ligam mais estreitamente ao conceito de Cadastro 3D por preverem ou permitirem, ainda que de forma indireta, impactos na conformação tridimensional do espaço urbano ou a possibilidade de exploração do subsolo e espaço aéreo, abrindo campo para análises e respostas no âmbito da terceira dimensão.

Entre todos os instrumentos, os que mais se aproximam do conceito de Cadastro 3D são o direito de superfície, a outorga onerosa do direito de construir, a transferência do direito de construir e as operações urbanas consorciadas com a emissão dos certificados de potencial adicional de construção.

O direito de superfície possibilita que através de um contrato, por tempo determinado ou indeterminado, o proprietário de um terreno urbano conceda a outro particular, o direito de utilizar o solo, o subsolo ou o espaço aéreo de seu terreno. Tal contrato deve ser registrado em escritura pública com firma no cartório de registro de imóveis.

Este é um instrumento que surge como alternativa dada ao proprietário frente à exigência de edificação compulsória do poder público. O que é fornecido ao terceiro é apenas o domínio útil, sendo mantido o direito de propriedade, ocorrendo, portanto, uma dissociação entre ambos.

A concessão do direito de superfície pode ser onerosa ou não ao usufrutuário e este arcará com a totalidade dos tributos incidentes sobre

a propriedade e proporcionalmente sobre a ocupação se assim estiver estabelecido em contrato.

Com a previsão de ocupação tanto na superfície topográfica como abaixo ou acima desta, o instrumento do direito de superfície abre um largo campo para análises em três dimensões, haja vista que os direitos, restrições e responsabilidades deverão ser registrados com exatidão a fim de que as parcelas espaciais possam ser corretamente definidas e registradas.

A outorga onerosa do direito de construir é o instrumento que permite ao poder público flexibilizar os parâmetros urbanísticos (como o coeficiente de aproveitamento do lote) ou as modalidades de uso do solo em determinadas áreas, para que os proprietários possam construir além dos limites básicos de toda a área, até um valor máximo, desde que seja pago um valor proporcional ao direito pleiteado. As áreas nas quais é possível aplicar tal instrumento são fixadas pelo Plano Diretor.

Relativamente à outorga onerosa do direito de construir, abre-se espaço para aplicações de Cadastro 3D pela possibilidade de criação de cenários comparativos presente/futuro, considerando a infraestrutura existente e o potencial de densidade possível de ser alcançado em cada área.

De maneira similar, o instrumento da transferência do direito de construir também pode se beneficiar de maneira direta de análises em três dimensões já que o impacto de empreendimentos que seriam realizados sobre parcelas e edificações de interesse cultural, histórico, ambiental, social ou paisagístico será transferido a outras parcelas nas quais nem sempre havia uma previsão do Plano Diretor para implantação. É mais um instrumento que permite flexibilizar os parâmetros urbanísticos com vistas a garantir outros benefícios de cunho social ou ambiental.

Além destes, destacam-se as operações urbanas consorciadas entre os instrumentos do Estatuto da Cidade passíveis de aproveitamento imediato e integração aos conceitos do Cadastro 3D.

De acordo com (Oliveira, 2001) as operações urbanas consorciadas referem-se a um conjunto de intervenções e medidas, coordenadas pelo poder público municipal, com a finalidade de preservação, recuperação ou transformação de áreas urbanas contando com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados. O objetivo é alcançar, em determinada área, transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental.



Para viabilizar uma operação urbana, há a possibilidade de serem previstas a modificação:

- i) de índices e de características do parcelamento, uso e ocupação do solo e subsolo;
- ii) das normas para edificação; e,
- iii) da regularização de construções, reformas ou ampliações executadas em desacordo com a legislação vigente.

Todas estas modificações carecem de complexos prognósticos que envolvem a construção de cenários possíveis para que o poder público possa quantificar o potencial de construção disponível ou adicional nas áreas impactadas pela operação consorciada a fim de emitir certificados alienados em leilões públicos. Este é um interessante instrumento que, de certa forma, inverte o sentido dos investimentos públicos em grandes obras, e que será explorado na aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

#### 2.6.2.1 Certificados de Potencial Adicional de Construção – CEPAC

O Cadastro é um instrumento de fundamental importância para o apoio às ações municipais, na medida em que consolida e integra uma série de informações de natureza diversa – físicas, sociais, econômicas, jurídicas e ambientais – sobre o território. Assume, portanto, um papel essencial para o ordenamento urbano e a gestão territorial.

O Cadastro desempenha, ainda, um papel fundamental no lançamento dos tributos imobiliários (com ênfase especial ao IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano), assim como no suporte à aplicação de instrumentos de política urbana, tais como: o IPTU progressivo no tempo (cumprimento da função social da propriedade); a regularização fundiária; as operações urbanas; a outorga onerosa do direito de construir; e a cobrança pelo uso do espaço público (redes de infra-estrutura urbana), entre outros.

A autonomia dos municípios na gestão cadastral resulta em uma acentuada variação do nível e qualidade do registro das informações sobre o território. Apesar de essencial para a atuação dos municípios, não raro, os Cadastros existentes apresentam condições inadequadas ao desempenho não apenas das funções fiscais ou arrecadatórias, mas de forma mais abrangente, para a gestão territorial.

A partir da Constituição de 1988 e suas sucessivas emendas com as transferências de obrigações federais e estaduais, os municípios

brasileiros se viram, enquanto esfera de poder mais próxima do cidadão, diante de um quadro deficitário do ponto de vista das receitas e crescente do ponto de vista da demanda por serviços que contribuiu ao longo dos últimos 20 anos para a deterioração de sua situação financeira (AFONSO, 2007). Pode-se afirmar, sem sombra de dúvidas e em concordância com grande número de autores, que a estruturação dos Cadastros por parte das administrações municipais conduz a quadros de maior justiça fiscal e de aumento da arrecadação própria, o que contribui para diminuir a dependência dos cofres municipais das transferências intergovernamentais.

Entretanto, nas cidades médias e grandes as ações de recuperação de receitas próprias (como os impostos e taxas sobre a ocupação do território) se aproximam do limite, não mais garantindo o autofinanciamento de obras de maior monta. Com a publicação da Lei Federal Nº 10.257/01 (Brasil, Presidência da República, 2001), o Estatuto da Cidade, um novo rol de instrumentos foi colocado à disposição das administrações municipais que permitiu trazer mais receitas e praticar a aplicação de políticas tributárias mais justas e transparentes. Fazendo uso das legislações disponíveis é possível adotar uma solução engenhosa para levantar recursos por meio do lançamento, por exemplo, dos CEPAC, os Certificados de Potencial Adicional de Construção. O caso de São Paulo, a partir de 2003, traduz o sucesso desta solução no autofinanciamento de grandes obras cuja implantação por meio de operações urbanas consorciadas ocorre em prazo médio, mas cuja capitalização se efetiva antecipadamente à execução da obra. Muito embora o pioneirismo do exemplo de São Paulo tenha inspirado outras prefeituras a se prepararem para a utilização desta solução, percebe-se que ainda há um distanciamento de tal instrumento com o Cadastro Territorial.

Tradicionalmente, a informação cadastral é definida em 2D. Os objetos são digitalmente armazenados e mantidos em sistemas de informações espaciais. A situação das “parcelas” territoriais e dos objetos legais é registrada em sistemas de duas dimensões no espaço. Devido ao crescente interesse no uso do espaço sob e sobre a superfície, a informação 3D tem se tornado mais e mais importante no registro de um mundo que é contínuo e em três dimensões (AYDIN, DEMIR e ATASOY, 2004). O caso da emissão dos CEPAC em São Paulo é emblemática já que a fórmula para o cálculo do potencial passível de construção é dado em metros quadrados, portanto, ocorrendo num espaço bidimensional, mas por se tratarem de áreas de alto adensamento urbano, o impacto direto incide sobre a verticalização da região com

modificação de direitos e restrições sobre o espaço aéreo e o subsolo e gera enorme demanda por serviços públicos, abrindo oportunidade para a análise segundo a perspectiva de um Cadastro 3D (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO, 2008).

Os Certificados de Potencial Adicional de Construção são um instrumento criado pelo Estatuto da Cidade, Lei Federal 10.257/2001, objetivando possibilitar o financiamento de grandes obras previstas em Operações Urbanas, sem que o município precise utilizar recursos vinculados ao orçamento municipal. O caso mais emblemático – e pioneiro – de sucesso na aplicação dos CEPACs foi sido regulado pela Instrução 401/03 da CVM - Comissão de Valores Mobiliários com o lançamento dos certificados na bolsa de valores para negociação nas Operações Urbanas Faria Lima e Água Espraiada.

Para melhor entendimento deste mecanismo é preciso lembrar a lógica de financiamento das Operações Urbanas. Geralmente as prefeituras custeiam as obras públicas urbanas com o dinheiro arrecadado a partir dos impostos extraídos de toda a coletividade, enquanto os benefícios acabam favorecendo de forma diferenciada alguns poucos seguimentos privados, o que, resumidamente, pode-se definir como uma situação na qual todos pagam, mas bem poucos usufruem.

É evidente que esse processo reflete-se na valorização imobiliária decorrente da realização de grandes intervenções urbanas, já que as obras são executadas com recursos originários do orçamento geral de toda a comunidade, mas a valorização beneficia mais diretamente apenas os contribuintes proprietários de móveis localizados na área que recebe os investimentos da Prefeitura.

A lógica da emissão dos CEPAC é a geração dos chamados “direitos adicionais de construção” nas áreas definidas pelas Operações Urbanas, o que possibilita a realização de construções acima do limite permitido pela legislação. Em outras palavras, a Prefeitura possibilita um afrouxamento nos parâmetros da legislação urbanística em um determinado local de interesse dos investidores e proprietários, mediante uma contrapartida financeira que é paga à Prefeitura, com a utilização destes títulos.

Para adquirir o CEPAC não é preciso ser proprietário de terrenos e nem mesmo ter que adquirir um imóvel na área da Operação Urbana, mas caso venha a ser titular de imóvel no local poderá aumentar a área construída ou alterar o seu potencial de utilização. O que nos leva a cogitar se a negociação dos CEPAC acabará por gerar um mercado especulativo imobiliário secundário pela sua própria valorização

enquanto troca de mãos. Se tal fato vier a se concretizar, será mais um ponto positivo para o poder público que valorizará o lançamento dos certificados em Operações Urbanas futuras, aumentando a arrecadação na operação. Além disso, o CEPAC pode ser uma nova alternativa para grandes investidores do mercado financeiro, uma vez que são comercializados em leilões públicos de papéis, com rendimento variável, atrelado à valorização imobiliária da região em que foi executada a Operação Urbana, sendo que estudos recentes estimam que o retorno mínimo dos títulos já emitidos será da ordem de 14% ao ano (SANDRONI, 2009).

Importante destacar que a emissão do CEPAC resulta em direitos adicionais de construção apenas nas áreas previamente aprovadas, não constituindo uma alteração na legislação referente ao uso e ocupação do solo, portanto, o poder público continua mantendo total controle do urbanismo.

### 3 MÉTODO

O presente projeto de tese previu quatro etapas gerais, quais foram: i) Revisão bibliográfica; ii) Levantamento de dados; iii) Processamento de dados; iv) Análise dos resultados. A seguir é apresentada a descrição das etapas listadas.

Na etapa da revisão bibliográfica foi realizado o levantamento de publicações nacionais e internacionais concernentes ao Cadastro 3D, seus conceitos, pressupostos teóricos, integração com dados legais, diferentes modelos e métodos de implantação, instrumentos do Estatuto da Cidade e aspectos técnicos relacionados à tecnologia de varredura a laser.

Para fins de aplicação prática dos resultados associados a este trabalho, as etapas de levantamento e processamento de dados, bem como da análise de resultados, seguiram caminhos distintos com dois casos bem caracterizados de Cadastro 3D:

- i. um sobre a superfície, com aplicação dos pressupostos cadastrais tridimensionais ao Estatuto da Cidade; e,
- ii. um sob a superfície, com foco em uma passagem subterrânea.

Na etapa de levantamento de dados foram reunidos e analisados os dados tridimensionais provenientes de varreduras a laser – aérea e terrestre – realizadas em área urbana. Conforme indicado anteriormente, embora se entenda que outras técnicas de coleta de dados poderiam ser aplicadas aos estudos de caso, fez-se opção pela varredura a laser para a parte prática da tese, e não constituiu objetivo a comparação entre diferentes técnicas. Tal opção ocorreu devido a se perceber que a varredura a laser é atualmente uma das mais modernas técnicas para coleta de dados tridimensionais utilizadas, com grandes possibilidades de se tornar cada vez mais comum, haja vista a redução de tamanho e peso dos equipamentos disponíveis, o aumento da velocidade de varredura e da capacidade de armazenamento, bem como as melhorias do desenvolvimento de métodos para processamento dos dados cada vez mais eficiente.

A área escolhida para o caso sobre a superfície fica localizada no município de Joinville-SC. Tal escolha deu-se pela disponibilidade de tais dados e pela facilidade de acesso a eles. Neste primeiro caso, os dados são oriundos de varredura a laser embarcada em aeronave (LiDAR). Os arquivos brutos foram fornecidos pela Prefeitura Municipal compreendendo um montante de 306 arquivos, num total de

10,5GB de espaço em memória. O detalhamento deste conjunto de dados é apresentado nos itens 3.1.1 a 3.1.3.

Para o caso sob a superfície, a coleta de dados foi realizada no próprio campus da UFSC, no túnel que liga as duas partes do campus e que passa sob a Av. Prof. Henrique da Silva Fontes. Foi utilizado um laser scanner terrestre Faro Focus 3D para caracterizar a situação de sobreposição entre os objetos territoriais. O detalhamento do conjunto de dados utilizados é apresentado no item 3.2.1.

Durante a etapa seguinte, foram realizados o processamento dos dados de varredura a laser e a modelagem da realidade 3D (objetos e superfície) das áreas urbanas escolhidas. O processamento dos dados 3D para ambas as situações (sobre e sob a superfície), bem como a sua inserção em uma plataforma de visualização e de modelagem, forneceu os subsídios para diagnóstico e gestão da área urbana a partir da análise e aplicação dos instrumentos do Estatuto das Cidades na referida área.

No caso acima da superfície, o processamento foi realizado nos softwares LP360 e ArcGIS e o resultado foi inserido na plataforma CityEngine. Tal procedimento está descrito nos itens 3.1.4 e 3.1.5. Para a caracterização da situação cadastral sob a superfície, o processamento dos dados seguiu através dos softwares Faro Scene, Recap, AutoCAD até que fosse possível proceder às análises. Os procedimentos estão descritos no item 3.2.2.

Na etapa final do trabalho chegou-se a avaliação dos resultados obtidos na etapa de processamento dos dados tridimensionais oriundos de varredura a laser e verificada sua aplicabilidade à gestão pública municipal pela análise do potencial dos instrumentos do Estatuto da Cidade, e de acordo com as premissas do CTM.

## 3.1 CADASTRO 3D SOBRE A SUPERFÍCIE: DADOS DE VARREDURA A LASER AÉREO PARA CEPAC EM JOINVILLE-SC

### 3.1.1 Caracterização da Área

O presente estudo do primeiro casotomou como local para o desenvolvimento o município de Joinville, que está localizado no norte do Estado de Santa Catarina (Figura 66). Joinville abriga o maior contingente populacional do Estado com mais de 515 mil habitantes, segundo o último censo populacional realizado pelo IBGE em 2010 (IBGE, 2014). O IDH de Joinville é de 0.857, ocupando a 13<sup>a</sup> posição no ranking nacional. A área total do município é de 1135km<sup>2</sup> com altitudes variando do nível médio do mar a 1325m.

O município de Joinville desenvolveu-se a partir da colonização alemã, principalmente, e hoje tem a sua economia estruturada em um forte setor industrial e de serviços, contando com o maior pólo industrial de Santa Catarina (3º maior da Região Sul) responsável por 18,9% do PIB do Estado (PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE, 2010). Estão incluídas aí grandes indústrias como a Tigre, a Tupy Metalúrgica, a Döhler, a GM (e mais recentemente a BMW, na vizinha Araquari a 10km), entre outras, que geram milhares de empregos e renda e atraem cada vez mais investimentos e moradores. O crescimento populacional e a disputa do mercado imobiliário por áreas centrais na cidade, que concentram grande parte da infra-estrutura pública, são responsáveis por incrementos de valoração das edificações e terrenos no município de Joinville que fizeram disparar os preços nos últimos anos.

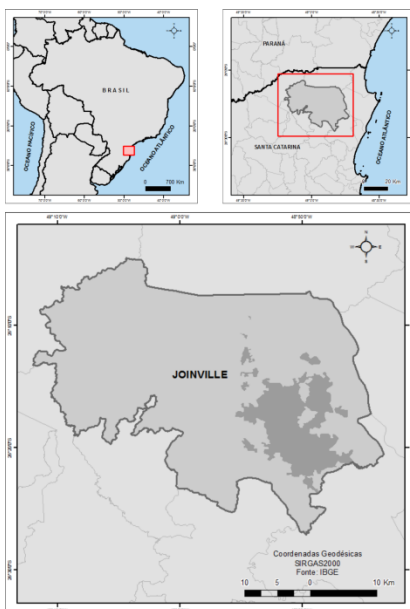


Figura 66 - Localização de Joinville

Neste estudo tomou-se como área principal para as análises o polígono compreendido entre as ruas Blumenau, Nove de Março, João Colin e Mario Lobo (Figura 67). A razão para a escolha desta área deve-se ao atendimento a dois critérios, i) a disponibilidade de dados nas diferentes formas utilizadas neste estudo (laser, ortofotos, restituição aerofotogramétrica) e ii) a área está compreendida na porção de maior

adensamento e valorização imobiliária da cidade, sendo catalogada pela Prefeitura Municipal como a que possui o maior valor construtivo e na qual há enorme especulação imobiliária. Tal área é denominada ZC1, ou Zona Central 1, onde estão localizadas predominantemente atividades administrativas, comerciais e de serviços e na qual era calculado em 2010 o valor de R\$978,62/m<sup>2</sup> construído (PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE, 2010).



Figura 67 - Delimitação da área de interesse no Centro de Joinville (ZC1).

Tais características da área considerada nos fizeram investigar diferentes cenários imagináveis: i) quanto há de área construída no polígono considerado? ii) quanto vale hoje tal área construída no polígono? iii) quanto há de área potencial para construção com os atuais parâmetros urbanísticos? iv) a partir de um relaxamento dos parâmetros urbanísticos em vigor como se configuraria o polígono em questão? v) Neste caso, qual o potencial adicional de construção possível?

### 3.1.2 Catalogação dos dados utilizados

- i) Cobertura por varredura a laser. Realizada no ano de 2007 pela empresa Aeroimagem teve como objetivo o recobrimento de toda a área urbana de Joinville. O produto final teve custo aproximado de 9 milhões de Reais com financiamento pelo PNAFM/BID. A densidade aproximada da amostragem realizada pela plataforma foi de 4pt/m<sup>2</sup>. Na geração deste produto foi utilizado uma plataforma de varredura a laser de pulso único, o que significa que cada pulso emitido foi percebido uma única vez pelo sensor. Tal característica acabou



- por trazer alguns inconvenientes, que serão apresentados no item 3.1.4. Os subprodutos gerados incluíram um Modelo Digital de Terreno e de Superfície, arquivos vetoriais com curvas de nível espaçadas de 20cm e grade de pontos com espaçamento de 2m. Através de convênio existente entre a Universidade do Estado de Santa Catarina e a Prefeitura Municipal de Joinville foi possível o repasse dos dados da cobertura a laser da área de estudo deste projeto. Os dados brutos da varredura a laser foram repassados na forma de arquivos tipo ASCII com extensão .all.
- ii) Recobrimento aerofotogramétrico. Realizado no ano de 2007, também pela empresa Aeroimagem, teve como objetivo o recobrimento aerofotogramétrico da área urbana da cidade e geração de ortofotos digitais e restituição de lotes e edificações. A resolução espacial das ortofotos resultantes do recobrimento aerofotogramétrico era de 0,39m. Este produto deu origem à restituição e geração dos arquivos vetoriais tipo shapefile de lotes e edificações que foram utilizados na pesquisa que também foram repassados pela Prefeitura Municipal de Joinville via convênio.
  - iii) Planta genérica de valores. Gerada no ano de 2012, disponibilizada no site da Prefeitura Municipal de Joinville.

### **3.1.3 Características dos dados LiDAR utilizados na pesquisa**

Antes de se apresentarem as características particulares dos dados LiDAR utilizados na pesquisa, faz-se necessário aprofundar alguns aspectos referentes à padronização deste tipo de dado.

A varredura a laser gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície num curto período de tempo. Os pulsos de laser são gerados e emitidos pelo sistema com o auxílio de um espelho de varredura atingindo os objetos que estejam a certa distância. Estes objetos refletem o pulso emitido e parte de sua energia volta para o sistema. Com isto, a medida da distância entre o sensor e o objeto iluminado é determinada através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso (GHILANI e WOLF, 2008).

Os sistemas de varredura laser são divididos em dois tipos: estático e dinâmico. O primeiro tipo é geralmente utilizado em levantamentos terrestres, em plataformas fixas, e o segundo caracteriza-se por medições em movimento, mais comumente transportados em aeronaves ou helicópteros, ou em veículos em menor escala de

aplicação, embora também possa ser utilizado em plataformas espaciais (DALMOLIN e SANTOS, 2004).

Segundo National Oceanic And Atmospheric Administration - Coastal Service Center (2012), novos sensores LiDAR tem a capacidade de captar múltiplos pulsos no momento da aquisição, aumentando assim a velocidade de levantamento para centenas de milhares de pulsos por segundo. Esses sensores podem captar até 5 pulsos, o que aumenta a capacidade de identificação tridimensional. Através da classificação dos pulsos, por exemplo, é possível identificar feições no espaço como: edificações, diversos níveis de vegetação, água, bem como a geração de modelos digitais de terreno através do último pulso - o mesmo é utilizado para representar o terreno (superfície da Terra), meio ao qual os pulsos do LiDAR não apresentam penetração (Figura 68).

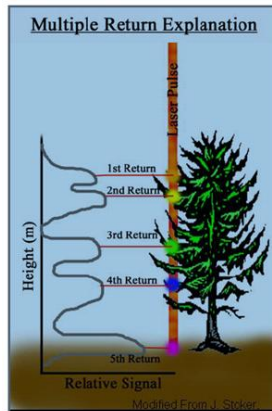


Figura 68 - Diagrama dos retornos apresentados pelo pulso do Laser Scanner.  
Fonte: Adaptado de ASPRS (2013).

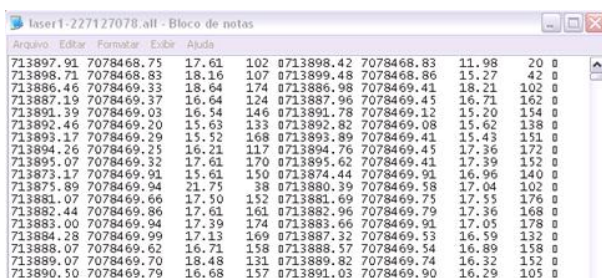
A introdução do formato padronizado para dados de varredura a laser (LAS 1.0) aconteceu no ano de 2002 por iniciativa da ASPRS e foi bastante bem sucedida, haja vista que a maioria dos grandes desenvolvedores de software adotaram o padrão e paulatinamente os usuários passaram a utilizá-lo e a demandar cada vez mais dados nesse formato.

A especificação do formato LAS é de codificação binária relativamente compactada da localização do ponto e seus atributos. Ao invés de armazenar em registros referenciados, os dados leves dos atributos LAS são armazenados no mesmo registro conjuntamente com os dados do ponto. Na medida em que o formato tornou-se de uso

comum, revisões foram necessárias e ao longo do ano de 2005 enquanto o formato LAS 1.1 era lançado, já estava em pleno desenvolvimento o formato LAS 2.0 que se propunha a uma revisão mais profunda, incluindo, por exemplo, um padrão para codificação do formato de onda no próprio arquivo. Entretanto, desde o formato LAS 1.0, o armazenamento padronizados dos múltiplos retornos do pulso laser estava presente nos arquivos (GRAHAM, 2005).

Aqui se defrontam as duas primeiras limitações em relação aos dados oriundos de varredura a laser utilizados neste trabalho. A primeira diz respeito ao formato dos dados em si. Em 2007, quando a varredura a laser foi realizada na área urbana de Joinville, a ASPRS já havia padronizado o formato .LAS e este era utilizado como modelo em praticamente todo o mundo pelos fabricantes de sensores LiDAR e de programas de processamento de dados, haja vista as vantagens sobre os dados em formato ASCII apresentadas anteriormente.

Os dados fornecidos pela empresa contratada, entretanto, foram entregues à Prefeitura Municipal de Joinville em formato ASCII, sendo possível identificar valores organizados em colunas de coordenadas UTM Este e Norte, altitude do ponto e intensidade de retorno do pulso laser (valor entre 1 e 256 variável conforme a quantidade de energia refletida pelo alvo), conforme apresentado na Figura 69. Com os dados no formato ASCII poucos softwares foram capazes de ler adequadamente os dados, e mesmo sendo realizada a leitura o processamento tornava-se extremamente lento devido ao próprio desempenho deste tipo de arquivo para leitura de grandes quantidades de dados. Deve-se considerar que alguns dos arquivos possuíam quase 500MB de tamanho de armazenamento com cerca de 12 milhões de pontos.



Arquivo	Editor	Formatar	Exibir	Ajuda						
713897.91	7078468.75	17.61	102	0713898.42	7078468.83	11.98	20	0		
713898.71	7078468.83	18.16	107	0713899.48	7078468.86	15.27	42	0		
713896.46	7078469.33	18.64	174	0713886.98	7078469.41	18.21	102	0		
713887.19	7078469.37	16.64	124	0713887.96	7078469.45	16.71	162	0		
713891.39	7078469.03	16.54	146	0713891.78	7078469.12	15.20	154	0		
713892.46	7078469.20	15.63	133	0713892.82	7078469.08	15.62	138	0		
713893.17	7078469.29	15.52	168	0713893.89	7078469.41	15.43	151	0		
713894.26	7078469.25	16.21	117	0713894.76	7078469.45	17.36	172	0		
713895.07	7078469.32	17.61	170	0713895.62	7078469.41	17.39	152	0		
713873.17	7078469.91	15.61	150	0713874.44	7078469.91	16.96	140	0		
713875.89	7078469.94	21.75	38	0713880.39	7078469.58	17.04	102	0		
713881.07	7078469.66	17.50	152	0713881.69	7078469.75	17.55	176	0		
713882.44	7078469.86	17.61	161	0713882.96	7078469.79	17.36	168	0		
713883.00	7078469.94	17.39	174	0713883.66	7078469.91	17.05	178	0		
713884.28	7078469.99	17.13	169	0713887.32	7078469.53	16.59	132	0		
713888.07	7078469.62	16.71	158	0713888.57	7078469.54	16.89	158	0		
713889.07	7078469.70	18.48	131	0713889.82	7078469.74	16.32	152	0		
713890.50	7078469.79	16.68	157	0713891.03	7078469.90	16.29	105	0		

Figura 69 - Exemplo de arquivo ASCII contendo os dados recebidos da PMJ.

Houve, então, a necessidade de converter os dados em formato ASCII para o formato .LAS a fim de ganhar celeridade no

processamento dos dados laser. Tal conversão foi realizada no software LP360, fabricado pela QCoherent, que possui um módulo de conversão automática de diretórios inteiros de dados compreendendo grandes volumes de armazenamento. A conversão dos arquivos .ALL (ASCII) foi realizada dando origem a uma coleção de arquivos .LAS.

A segunda limitação diz respeito à questão estrutural da plataforma de varredura a laser utilizada no levantamento que permitia apenas a captação de um único pulso de retorno do laser emitido, o que, aliado a densidade de coleta de pontos relativamente baixa ( $4\text{pt}/\text{m}^2$ ) reduziu consideravelmente a possibilidade de se extrair automaticamente as feições edificadas na área de interesse. Os diversos testes efetuados com diferentes softwares (LP360, VRMesh, MARS7, TerraScan, ArcMap) não se mostraram satisfatórios, haja vista que todos os algoritmos atuais e eficientes para extração de feições a partir de nuvem de pontos geradas por laser se valem do uso de dados em formato .LAS com leitura de múltiplos retornos. Tal lacuna referente à extração de feições a partir de dados laser foi preenchida pela utilização dos dados oriundos da restituição aerofotogramétrica. Ainda assim, os dados da varredura a laser de pulso único continuaram a ser de suma importância para o conhecimento da altura das edificações inseridas na área de interesse, mas não puderam ser utilizados para a extração automática de feições.

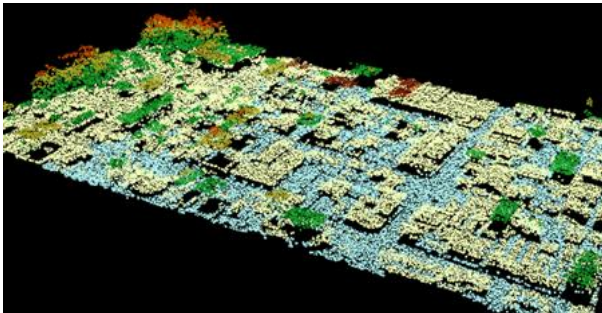


Figura 70 - Exemplo de dados de varredura a laser na área central de Joinville, visualização 3D. Fonte: do autor.

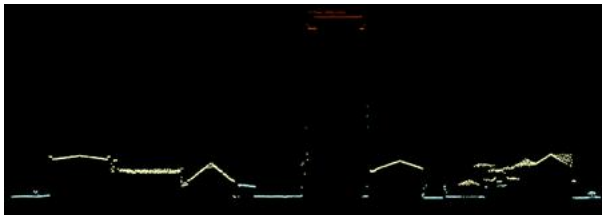


Figura 71 - Exemplo de dados de varredura a laser na área central de Joinville, visualização em perfil. Fonte: do autor.

A primeira tentativa para a determinação das alturas das edificações foi realizada no software ArcMap 10.1, da plataforma ArcGIS da ESRI. A partir da versão anterior (10.0) a leitura de arquivos .LAS já era possível, entretanto, as melhorias resultantes da nova versão permitiram uma maior eficiência na leitura, exibição e armazenamento de dados laser pela utilização do formato *LAS Dataset*. Este formato tem a capacidade de acessar grandes bases de dados LiDAR de maneira rápida e sem a necessidade de qualquer tipo de conversão entre os dados (Figura 72).

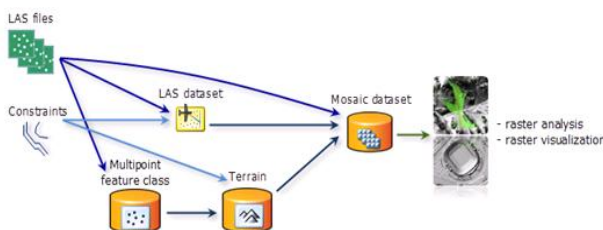


Figura 72 - Fluxo da manipulação de dados LiDAR através do LAS Dataset. Fonte: adaptado de ESRI (2014).

O *LAS Dataset*, após a carga de dados LiDAR, apresenta de maneira simultânea estatísticas e área de cobertura dos mesmos, facilitando, assim, a gerência e manipulação deste tipo de dado. A partir da criação de um arquivo *LAS Dataset* único foi possível importar diversos arquivos em formato .LAS, processá-los e visualizá-los simultaneamente na área de trabalho do ArcMap juntamente com os arquivos vetoriais tipo shapefile correspondentes às parcelas (lotes) e edificações da área de interesse.

Inicialmente, a determinação das alturas das edificações foi realizada manualmente, uma a uma, utilizando a ferramenta de medição de distância a partir da visualização do perfil das edificações. Com a

determinação da altura, o respectivo valor foi anotado na tabela de atributos do shapefile das edificações, numa coluna previamente criada e configurada para esta finalidade (Altura\_Pre) e para utilização nas etapas subsequentes. O mesmo procedimento foi testado no software LP360, sem grande vantagem prática em relação ao ArcMap. Posteriormente, este procedimento foi substituído por um procedimento de extração automática que determinava a altura das edificações a partir da diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo nas circunvizinhanças da feição. Tal procedimento mostrou-se satisfatório em comparação com o procedimento manual, tendo obtido valores semelhantes em praticamente a totalidade dos casos. Excepcionalmente, apenas uma ou outra edificação necessitaram de correção no tocante à altura obtida por método automático.

Para a extração das alturas automaticamente foi criado um modelo digital de superfície com intuito de obter com precisão a altura das edificações presentes na área de interesse. Para tal, foi necessário realizar um processo de filtragem do MDS original excluindo os valores de altitude compreendidos entre os polígonos das edificações (Figura 73).

O objetivo da medição das alturas das edificações estava relacionado com as etapas posteriores de criação de um modelo tridimensional para o espaço urbano em um ambiente de realidade virtual que permitisse quantificar a área construída e a quantidade de área disponível para construção obedecendo os parâmetros urbanísticos atuais, além de uma estimativa de potencial de construção adicional a partir da previsão de afrouxamento nestes parâmetros.

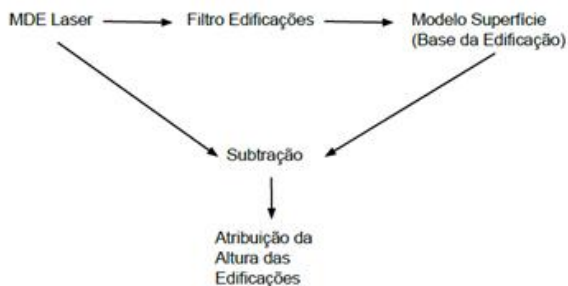


Figura 73 - Diagrama representativo da metodologia utilizada para a extração das alturas das edificações.

### 3.1.4 Cálculo do Potencial Adicional de Construção

A metodologia atual de cálculo do potencial adicional de construção é feita tomando como base a premissa bidimensional do Cadastro tradicional. Sobre as projeções das edificações e parcelas (lotes) são feitas as estimativas de área construída em uma determinada área urbana, bem como são estimados o quanto de disponibilidade para a construção ainda há e sobre esse valor o quanto haveria com a modificação dos parâmetros urbanísticos em vigor, como coeficiente de aproveitamento, taxa de ocupação, gabarito e recuos frontais, laterais e de fundos. Toda esta metodologia minimiza o uso de ferramentas de geoprocessamento e não contempla uma análise visual tridimensional do espaço e das alterações provocadas nele a partir das intervenções traçadas.

Para suprir tal deficiência, buscou-se uma metodologia que fosse capaz de aliar o que há de mais atual em termos de coleta de dados geoespaciais e de processamento e simulação de ambientes virtuais urbanos. Para esta segunda meta foi escolhido o software CityEngine, fabricado pela ESRI, por sua capacidade de modelagem tridimensional via parametrização e por permitir a quantificação de análises comparativas visuais entre diferentes cenários criados.

O CityEngine tem sua origem nas plataformas geradoras de ambientes de realidade virtual para jogos eletrônicos, possuindo para tal finalidade alta complexidade e resultados impressionantes, mas não se comporta exatamente como um Sistema de Informações Geográficas – SIG. Apesar de atuar na representação tridimensional do espaço, o CityEngine não pode ser considerado exatamente um SIG, pois apresenta recursos muito limitados de retroalimentação de banco de dados alfanumérico a partir da elaboração de consultas, possui limitações na aplicação de modelos de análise espacial, e possui baixa interoperabilidade com outros sistemas de gerenciamento de dados territoriais. O CityEngine recebe dados de SIGs (como o ArcMap, também fabricado pela ESRI e utilizado nesta pesquisa) e permite a visualização da informação tridimensional, assim como a simulação de paisagens.

A lógica de funcionamento do CityEngine é a da simulação de ambiente urbano através de parametrização da morfologia de seus elementos como ruas, parcelas e edificações. Tal simulação pode se dar em diferentes níveis de realidade virtual, ou conforme se encontra na bibliografia relacionada ao tema, diferentes níveis de detalhes (LoD). Centeno e Bähr (2008) apresentam um resumo dos cinco diferentes níveis de detalhes catalogados na bibliografia da área, e pôde-se confirmar experimentalmente que o CityEngine é capaz de executar as

simulações de ambiente urbano até o nível 3, numa escala que vai de 0 a 4 (0 representa o menor nível composto apenas por um modelo digital de terreno associado a imagens; 4 representa o maior nível de detalhamento no qual é possível não só simular o ambiente urbano como também o interior das edificações).

Toda a parametrização realizada no CityEngine é posta em prática através de regras (*rules*) que são *scripts* que estruturam de que maneira os padrões urbanísticos da área em questão serão transformados em um ambiente virtual tridimensional. Sendo um software estrangeiro, o CityEngine traz consigo uma série de regras-padrão que simulam bem os padrões urbanísticos e morfologia de cidades comuns nos países desenvolvidos. É possível, entretanto, elaborar as próprias regras para criar ambientes urbanos conforme os dados que se possui e a necessidade de análise que se apresente. A linguagem de programação do CityEngine é CGA, que é uma simplificação da linguagem Python, mas com modificações que a tornam particular e exclusiva. Mesmo sem grande documentação disponível foi possível gerar regras que permitiram recriar o ambiente urbano na área de interesse e simular intervenções com o lançamento de CEPAC.

A primeira etapa de trabalho no CityEngine consistiu na importação dos dados vetoriais em formato shapefile oriundos do ArcMap. Há diversos tipos de formatos possíveis de serem importados e o processo todo ocorreu sem maiores dificuldades. O único cuidado de maior relevância que teve-se de tomar foi o de importar os shapefiles das parcelas (lotes) e de edificações separadamente. Tal fato se deu devido à necessidade de que após a importação do shapefile das parcelas (lotes) é preciso executar uma operação que informe ao CityEngine qual é o segmento (ou face) do polígono que está voltado para a rua. Este é um processo relativamente moroso, para o qual não há ainda uma forma automática, mas que é de fundamental importância para o funcionamento das regras relativas aos parâmetros urbanísticos como recuos laterais, frontais e de fundo. No CityEngine este processo é denominado “*Set first edge*” e dessa forma é possível que o software identifique qual segmento do polígono está voltado para rua, qual o segmento está localizado nos fundos (oposto ao primeiro) e quais compõem os segmentos das laterais do polígono. No shapefile das edificações não houve a necessidade de executar este procedimento, pois os recuos não se aplicam a estes objetos.

A importação dos shapefiles ocorre dentro de uma instância chamada cena (*Scene*). Na cena é possível importar modelos digitais de terreno, imagens aéreas, rede hidrográfica, entre outros, e também pode-



se configurar elementos ambientais como o plano de fundo do céu (ensolarado, nublado, chuvoso, etc) e a posição do sol em relação ao horizonte criando efeitos de realidade aumentada. O processo de importação dos dados em uma cena é interessante do ponto de vista de preservação da integridade dos dados, mas acentua sua limitação de interoperabilidade em relação à devolução dos dados processados ou analisados no CityEngine para outros softwares de geoprocessamento. Tal característica coloca o CityEngine como um software de “fim de processo” e não de meio, ou um visualizador de eventos, o que o diferencia de um SIG propriamente dito.

Finalizada a importação dos shapefiles e a determinação do segmento das parcelas voltado pra rua, deu-se início à elaboração das regras que comporiam os cenários que se desejava criar. Inicialmente, o cenário trabalhado foi o de replicação da realidade e, para tal, era necessário reconstruir as edificações hoje existentes na área de interesse. A altura das edificações já havia sido determinado pelos dados laser no software ArcMap, conforme explicitado anteriormente, e se encontravam armazenadas numa coluna (“ALTURA\_PRE”) da tabela de atributos do shapefile das edificações (“EdificacoesAlt.shp”). A operação dessa primeira regra consistiu basicamente em uma extrusão (*extrude.y*) na altura utilizando a projeção da edificação como molde. Tomou-se também o cuidado de promover um fatiamento no volume extrudado (*split*) e, para isto, foi preciso antes definir uma altura padrão para o pavimento térreo (PT) e para os demais pavimentos superiores (PS). Consultando a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Joinville identificou-se que o valor adotado em ambos os casos é de 3m e assumiu-se, portanto, este mesmo valor em na modelagem. Também foi solicitado ao CityEngine que nessa primeira regra colorisse os volumes das edificações de amarelo e que calculasse dois parâmetros importantes para as análises: a área construída e o coeficiente de aproveitamento. A declaração das variáveis e a regra para o primeiro cenário (*FootprintCalculate*) ficaram assim elaboradas:

```
attr alturaPavTerreo = 3
attr alturaPavSuperior = 3

@StartRule
FootprintCalculate -->
    extrude(world.y, MAX)
    split(y) { alturaPavTerreo : Volume("PT") | ~1 :
UpperFloors }

UpperFloors -->
```

```

split(y) { ~ alturaPavSuperior : Volume("PS") } *
Volume(volumeType) -->
  case volumeType == "PT" :
    color (1,1,0)
    Reporting
    Visualization
  else :
    color (1,1,0)
    Reporting
    Visualization

Reporting -->
  report("Area Construida", geometry.area(bottom))
  report("Coef Aproveitamento", geometry.area(bottom) /
AreaTerren)
  NIL

```

Posteriormente, um segundo cenário foi elaborado no qual a área construída foi levada ao máximo de acordo com as formas atuais da projeção das edificações, mas considerando dois parâmetros urbanísticos vigentes pela Lei de Uso e Ocupação do Solo de Joinville: o gabarito da edificação e o coeficiente de aproveitamento. Foi desenvolvida uma nova regra que contemplou estes dois parâmetros de forma que a edificação não ultrapassasse 18 pavimentos nem que o coeficiente de aproveitamento do lote (CAL) fosse superior a 6. Na aplicação da regra os pavimentos sofrem extrusão um a um no valor estipulado para sua altura (3m) e o coeficiente de aproveitamento vai sendo calculado até chegar ao limite de 6. Se o décimo oitavo pavimento for alcançado antes disso a extrusão é interrompida, pois um dos parâmetros chegou ao limite. A declaração das variáveis e a regra para o segundo cenário (*FootprintReach*) ficaram assim elaboradas:

```

attr idealCAL = 6
@Hidden
attr currentFloorIndex = 1

floorHeightFunction =
  case currentFloorIndex == 1 :
    alturaPavTerreo
  else :
    alturaPavSuperior

FootprintReach -->
  ReachRecursion( idealCAL * AreaTerren )

ReachRecursion( restArea ) -->
  case restArea < geometry.area(bottom) :
    Done.

```

```

    case currentFloorIndex == 19 :
        Done.
    else :
        extrude(world.y, floorHeightFunction)
        VisualizationReach (currentFloorIndex)
        set (currentFloorIndex, currentFloorIndex + 1)

    comp(f) {top: ReachRecursion( restArea -
geometry.area) | all : NIL}

VisualizationReach ( volumeType ) -->
    case volumeType == 1 :
        Volume ("PT")
    else :
        Volume ("PS")

```

## 3.2 CADASTRO 3D SOB A SUPERFÍCIE: DADOS DE VARREDURA A LASER DE PASSAGEM SUBTERRÂNEA EM FLORIANÓPOLIS-SC

### 3.2.1 Caracterização da área

Para o segundo estudo de caso buscou-se uma situação que pudesse evidenciar uma sobreposição de direito de propriedade e no qual fosse possível utilizar dados levantados sob a superfície topográfica, haja vista que o LiDAR, por estar embarcado em uma aeronave, é capaz de coletar apenas informações sobre esta superfície.

A fim de alcançar a meta acima, decidiu-se por utilizar um método de levantamento semelhante ao do primeiro caso, baseado no princípio de posicionamento com o uso de laser, mas desta vez terrestre. O local escolhido foi a passagem subterrânea que liga as duas partes do campus da UFSC separadas pela Avenida Henrique da Silva Fontes, nos arredores do bairro Córrego Grande. A passagem possui cerca de 38m de extensão e serve de acesso aos pedestres, ciclistas e pequenos veículos do setor de manutenção da universidade ligando do lado oeste da avenida os blocos do Centro de Ciências da Saúde – CCS, Hospital Universitário, bancos, Biblioteca Universitária, Centro Tecnológico – CTC e demais centros de ensino ao lado leste da avenida os blocos do Centro de Ciências Biológicas – CCB, os prédios do Departamento de Engenharia Civil, do Departamento de Segurança – DESEG, do Departamento de Obras e Manutenção Predial – DOMP, do Departamento de Engenharia Química, entre outros (Figuras 74 a 76).



Figura 74 - Passagem subterrânea, entrada Oeste.



Figura 75 - Passagem subterrânea, entrada Leste.



Figura 76 - Vista da Avenida Prof. Henrique da Silva Fontes.

No site da Universidade Federal de Santa Catarina, o mapa do campus Florianópolis destaca a existência do túnel fazendo referência a ele com linhas tracejadas que interceptam a Av. Henrique da Silva Fontes, muito embora o mapa não apresente uma legenda que explicite o significado das referidas linhas (Figura 77). O mapa apresentado no Google Earth também faz referência ao túnel apresentando uma linha contínua em cor cinza sob a avenida indicando que trata-se de um caminho ou acesso para pedestres (Figura 78).

No site do Geoprocessamento Corporativo da Prefeitura Municipal de Florianópolis não há referência à existência da passagem subterrânea (Figura 79), apenas as duas parcelas (aqui chamadas lotes) que compõem a propriedade da UFSC aparecem numeradas como 102445 (a oeste da avenida) e 101279 (a leste da avenida).





Figura 79 - Numeração dos lotes no site do Geoprocessamento Corporativo.  
Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Florianópolis (2015).

### 3.2.2 Dados de varredura a laser utilizados e procedimentos de processamento

A coleta de dados para o segundo estudo de caso foi realizada com um *laser scanner* terrestre, modelo Focus3D X330, fabricado pela FARO e cedido pelo Instituto Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis.



Figura 80 - Laser Scanner terrestre Faro Focus3D X330

O equipamento foi configurado para uma densidade de pontos na nuvem de 7mm/10m, ou seja, de acordo com os parâmetros adotados para resolução, qualidade e divergência do feixe laser estava prevista uma abertura dos pulsos laser que resultaria numa distância de 7mm entre os pontos à distância de 10m. Esta é uma resolução relativamente baixa para a capacidade total do equipamento (máxima de cerca de 1 milhão de pontos coletados por segundo), mas que permitiu uma boa produtividade em campo e garantiu a leitura mínima de pontos nos alvos esféricos (80 pontos em condições ótimas e 60 pontos em condições ruins) para as distâncias adotadas, conforme indicação do fabricante.

A respeito dos alvos esféricos, faz-se necessário que se realize uma boa distribuição geométrica entre as cenas a fim de que o software de processamento dos dados consiga efetuar o registro com a precisão exigida. A distribuição dos alvos é fundamental neste processo e o fabricante recomenda que ao menos três alvos esféricos em alturas diferentes estejam posicionados entre duas cenas subsequentes sendo varridos pelo laser scanner em ambas. Muito embora diferentes tipos de alvos possam ser utilizados para o registro das cenas – tais como alvos retangulares, pontos visíveis e planos comuns às duas cenas, optou-se por utilizar apenas as esferas por duas razões principais. Primeiro, por serem estes os tipos de alvo que produzem os melhores resultados de registro. Quanto maior o número de pontos coletados sobre a esfera, melhor o resultado do cálculo do seu centro geométrico e, portanto, melhor o resultado do registro entre cenas. Segundo, por ser possível substituir as esferas posicionadas com o auxílio de bases nivelantes sobre tripés por receptores GNSS. O objetivo deste arranjo foi realizar a coleta de dados de coordenadas UTM de alguns pontos e, portanto, proceder ao devido georreferenciamento da nuvem de pontos, o que seria dificultado com o uso de outro tipo de alvo (Figura 81).



Figura 81 - Alvo esférico posicionado com base nivelante sobre tripé

A recomendação do fabricante é que se procure distribuir os alvos entre as cenas de maneira não linear entre si nem coincidente com o plano horizontal do aparelho. Esta recomendação é a garantia geométrica de que duas nuvens de pontos geradas por cenas diferentes consigam um bom resultado de precisão no registro evitando problemas de rotação sobre uma linha ou entre planos. Esta condição de boa distribuição é difícil de alcançar quando se trata de corredores ou túneis de pequena seção, como era o caso da passagem subterrânea a UFSC. As paredes muito próximas fazem com que não se consiga distribuir os alvos de

maneira satisfatória e cuidados especiais são necessários, como a utilização de um número maior de alvos e a diminuição da distância entre o laser scanner e os alvos, a fim de coletar um número maior de pontos e melhorar a precisão do cálculo do centro das esferas.

De acordo com as recomendações do fabricante, para a distância a ser percorrida nas cenas subsequentes e para a resolução adotada (7mm/10m) no levantamento da passagem subterrânea, estimou-se um número de cinco cenas distantes até 20m umas das outras com a utilização de 3 a 4 alvos entre cada uma delas.

O processamento da primeira coleta de dados não foi bem sucedido, haja vista que optou-se por realizar apenas duas cenas no interior da passagem subterrânea e mesmo atingindo mais que o mínimo necessário de pontos em cada alvo, a má distribuição geométrica (alvos muito próximos entre si e praticamente alinhados devido à disposição geométrica da passagem subterrânea) não permitiu o registro entre as cenas. Fez-se necessário, então, realizar uma segunda coleta de dados com um número maior de cenas e melhor distribuição das esferas.

Durante a segunda tentativa, optou-se por realizar uma cena a mais no interior da passagem subterrânea, aumentando para seis no total e diminuindo a distância máxima entre as cenas para 15m, com uma distribuição mais espaçada dos alvos esféricos a fim de tentar diminuir o efeito da pequena seção do túnel sobre o processamento (Figura 82).

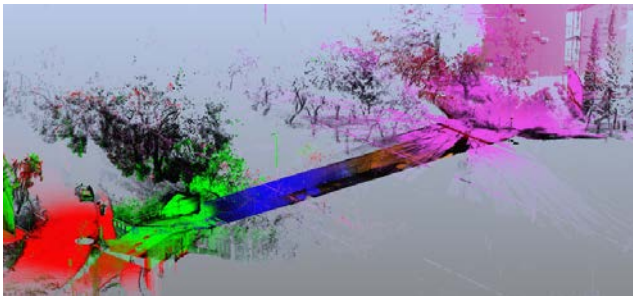


Figura 82 - Distribuição das cenas no levantamento da passagem subterrânea da UFSC.

As cenas ficaram assim distribuídas:

- i. Cena Tese2000 – entorno do túnel, interior do campus próximo ao CCB;
- ii. Cena Tese2001 – entrada leste do túnel;
- iii. Cena Tese2002 – interior do túnel;
- iv. Cena Tese2003 – interior do túnel;



- v. Cena Tese2004 – entrada oeste do túnel, próximo ao CCS; e,
- vi. Cena Tese2005 – sobre a entrada do túnel, lado oeste da avenida.



Figura 83 - Posicionamento do laser scanner na cena Tese2001 (esq.) e distribuição de alvos esféricos no interior do túnel (dir.).



Figura 84 - Vista planar das cenas: no alto, cenas Tese2000 (esq.) e Tese2001 (dir.), no centro, cenas Tese2002 (esq.) e Tese2003 (dir.) e abaixo, cenas Tese2004 (esq.) e Tese2005 (dir.).

Para proceder ao registro das seis cenas foi utilizado um total de 20 alvos esféricos, dos quais quatro foram ocupados com receptores GNSS (dois em cada entrada do túnel) a fim de coletar coordenadas UTM dos pontos e, conseqüentemente, georreferenciar a nuvem de

pontos registrada. Para as transformações e ajustamento entre o sistema de coordenadas da nuvem de pontos e o sistema de projeção UTM seriam necessários apenas dois pontos (um em cada lado do túnel), entretanto, optou-se por utilizar quatro por segurança, caso algum deles não apresentasse precisão adequada ou solução fixa das ambiguidades. O posicionamento GNSS foi realizado com técnica RTK/NTRIP com conexão em tempo real à base SCFL0 da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC administrada pelo IBGE e instalada na própria UFSC, o que resultou em um vetor curto (cerca de 200m) e permitiu boa precisão no posicionamento. As coordenadas obtidas estão apresentadas no Quadro 2.



Figura 85 - Vista 3D da nuvem de pontos da segunda coleta de dados, software Scene.

Quadro 2 – Coordenadas UTM dos pontos de referência (Fuso 22S Sirgas2000)

NOME	NORTE(m)	ESTE(m)	h(m)	sHor(m)	sVer(m)
REF1	6944746,631	745188,4401	7,5414	0,010	0,015
REF2	6944757,521	745179,2044	6,8901	0,007	0,010
REF3	6944747,311	745115,4587	7,4197	0,014	0,024
REF4	6944765,989	745117,668	7,0784	0,006	0,011

Após finalizado o processo de registro, os dados foram enviados ao AutoCAD 2015 para que se pudessem gerar os documentos da modelagem 3D dos objetos de interesse. Entre o software Scene e o AutoCAD 2015 houve a necessidade que o projeto fosse salvo no software ReCap, também desenvolvido pela Autodesk. O próprio ReCap em si seria capaz de promover o registro das cenas para gerar a nuvem de pontos, entretanto, o seu procedimento de registro é menos refinado

que o do Scene operando apenas através de planos em comum, sem a possibilidade de utilizar os alvos esféricos. O tipo de registro realizado pelo Recap, baseado na presença de planos ortogonais comuns entre duas ou mais cenas, torna-se eficiente quando as cenas são tomadas em ambientes internos nos quais seja possível identificar facilmente paredes, forros e pisos em planos perfeitamente definidos. A partir da utilização de alvos (sejam esféricos, tabulares ou pontuais) o Scene abrange maiores possibilidades de registro das nuvens de pontos, tanto em ambientes internos como externos (caso em tela). Como o AutoCAD 2015 reconhece diretamente as nuvens de pontos originadas no ReCap, realizou-se um processo de importação da nuvem de pontos georreferenciada gerada no Scene, criando então um projeto no formato da Autodesk (.rcp) que pode ser aberto sem maiores dificuldades no AutoCAD 2015 (Figura 86).

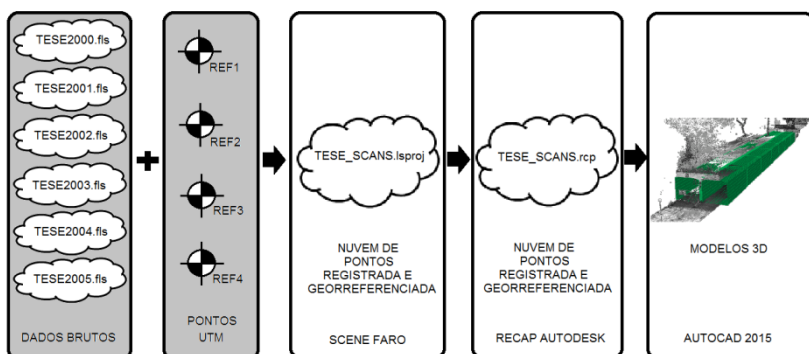


Figura 86 - Fluxo dos processos para geração dos modelos 3D.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CADASTRO 3D APLICADO À QUANTIFICAÇÃO DE CEPAC

O resultado da reconstrução da realidade da área de interesse no Centro de Joinville pode ser visualizada na Figura 87. É possível identificar perfeitamente que o software CityEngine replicou as edificações corretamente com os prédios mais altos e as construções mais baixas com alturas adequadas aos valores que se poderia encontrar *in loco*. Para verificar a fidedignidade do processo estão reproduzidas nas Figuras 88 e 89 duas imagens, uma gerada pelo CityEngine e uma outra obtida pelo Google Street View da Av. Quinze de Novembro, inserida na área de interesse.

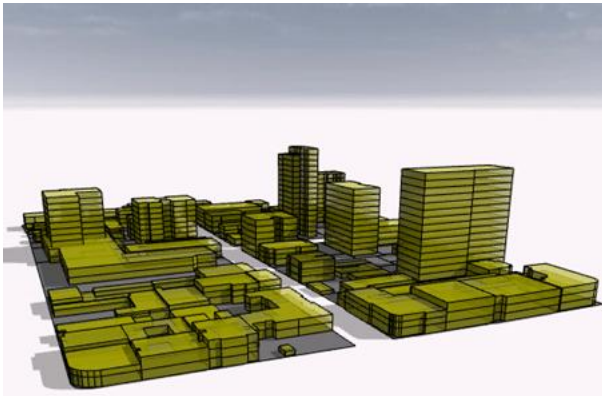


Figura 87 - Primeiro cenário gerado no CityEngine: reprodução da situação atual da área de interesse.

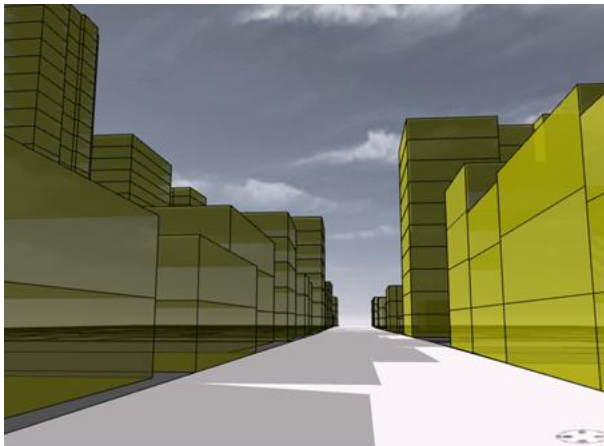


Figura 88 - Imagem da Rua Quinze de Novembro gerada no CityEngine.



Figura 89 - Imagem da Rua Quinze de Novembro. Fonte: Google Street View.

Segundo a análise que o CityEngine realizou para este primeiro cenário, o total de área construída foi de  $97.429,06\text{m}^2$ , o que, em valores da planta genérica de 2012 totalizaria a soma de R\$ 95.346.026,70 apenas para a área construída dos imóveis considerados na área de interesse.

O resultado da simulação do segundo cenário pode ser visto na Figura 90. É possível notar que alguns dos edifícios que apareciam mais altos no primeiro cenário sofreram redução em seu gabarito neste segundo cenário. Tal fato indica que estes edifícios estão hoje fora de conformidade com a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Joinville, ou por

superar o gabarito máximo permitido ou por ultrapassar o coeficiente de aproveitamento do lote para a área central da cidade.

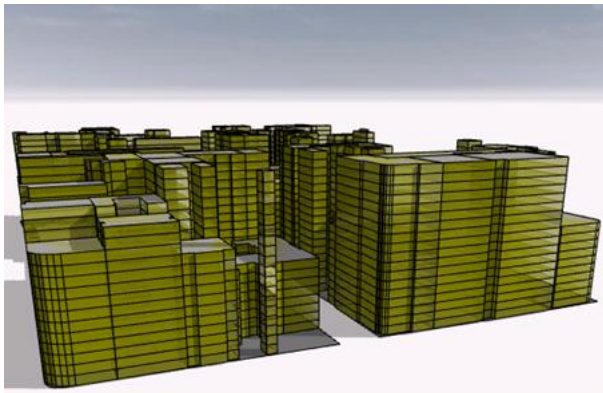


Figura 90 - Segundo cenário gerado pelo CityEngine.

O total de área construída neste cenário foi calculada pelo CityEngine como sendo  $348.610,87\text{m}^2$  o que resultaria num aumento de 358%, que corresponde ao estoque de área construtiva disponível. É importante observar que neste segundo cenário foi provocada uma maximização da área construtiva disponível, mas ainda conforme a projeção das edificações, sendo que algumas destas edificações estão construídas fora dos padrões urbanísticos desejáveis e outras não aproveitaram totalmente a taxa de ocupação disponível.

Em outras palavras, a construção deste segundo cenário enseja questionamentos sobre se fossem levados os parâmetros urbanísticos até o limite permitido na Zona Central 1, com recuo frontal de 5m, recuos laterais e de fundo de 1,5m, gabarito de 18 pavimentos, coeficiente de aproveitamento do lote de 6 e taxa de ocupação de 70%. Para responder tais questionamentos construiu-se um terceiro cenário que nos permitiu avaliar a cidade do ponto de vista ideal do obediência a todos os parâmetros urbanísticos e estando no limite da ocupação e do uso do solo.

O resultado da simulação desse terceiro cenário está apresentando na Figura 91 e visualmente é perceptível que as edificações se configuraram com gabaritos menores em comparação com o segundo cenário. Tal fato se deve a que as edificações como estão construídas atualmente ocupam a área das parcelas de forma irregular, ou melhor dizendo, fora de conformidade com os atuais parâmetros urbanísticos. Isso se explica por se tratar de uma área das mais antigas na ocupação da

cidade e que foi sendo sedimentada em seu uso e ocupação sem uma preocupação com o atendimento a qualquer ordenamento. Na prática a ocupação das parcelas se deu ao longo do tempo em muitos casos com a ausência de recuos frontais, laterais e de fundos e consequentemente com taxa de ocupação maior que 70%.

O total de área construída calculado pelo CityEngine para este terceiro cenário foi de 291.194,96m<sup>2</sup>, valor 299% superior ao calculado para a situação atual (primeiro cenário). Tomou-se este valor como limite do estoque construtivo atual, pois certamente, na medida em que o mercado imobiliário demandar o aumento de área construída, as autorizações e licenças a serem fornecidas pelo poder público municipal para a construção levará em conta os atuais parâmetros urbanísticos e este valor, portanto, não será superado.

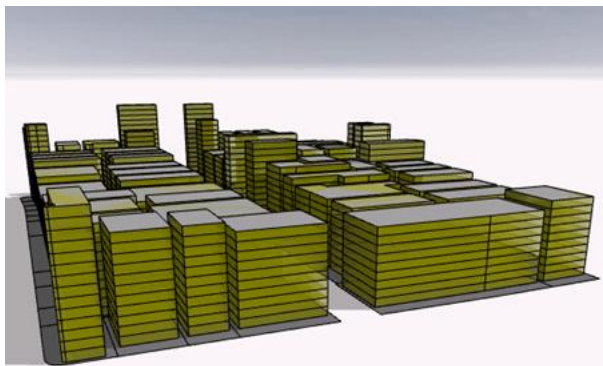


Figura 91 - Terceiro cenário gerado pelo CityEngine.

A redução do número de pavimentos em geral das edificações está certamente ligada ao coeficiente de aproveitamento do lote que é o fator mais fortemente limitante para o acréscimo de área construída. Numa área central, como esta em questão, na qual o limite do gabarito é de 18 pavimentos, e em sendo atendidos os recuos e taxa de ocupação, pode-se inferir que se as edificações simuladas neste terceiro cenário não alcançaram a totalidade de pavimentos possíveis foi certamente por influência limitadora do coeficiente de aproveitamento do lote. O que conduziu a novos cenários para o cálculo do potencial adicional de construção apenas variando o valor do coeficiente de aproveitamento do lote, que é o parâmetro mais restritivo.

Simulou-se no CityEngine para a área de interesse variações unitárias do coeficiente de aproveitamento do lote de 6 (limite atual) até 10 e obtiveram-se os valores apresentados na Quadro 3.

Quadro 3 – Majoração do coeficiente de aproveitamento do lote e aumento da área construída.

Coeficiente de Aproveitamento do Lote	Total de área construída (m <sup>2</sup> )
6	291.194,96
7	340.752,84
8	379.102,32
9	425.436,25
10	464.027,89

Pelos resultados obtidos, levando em consideração a morfologia da área de interesse, a quantidade de parcelas (lotes), suas dimensões, recuos, gabarito e taxa de ocupação, o aumento de 1 (uma) unidade no coeficiente de aproveitamento do lote seria responsável por algo em torno de 43.000m<sup>2</sup> (valor médio) de área construída adicional. De outra forma, pode-se afirmar que o relaxamento dos parâmetros urbanísticos com aumento de uma unidade no coeficiente de aproveitamento do lote responde potencialmente por um adicional de área construída de 43.000m<sup>2</sup> na área de interesse. Da perspectiva da valoração dos imóveis, tal incremento de potencial adicional de construção elevaria o valor dos imóveis em cerca de R\$ 41 milhões, em valores atuais conforme a planta genérica de valores. Considerando-se que a área de interesse tomada nesta pesquisa é relativamente pequena tem-se uma ideia de quanto o mercado imobiliário se beneficia com o relaxamento dos parâmetros urbanísticos promovidos durante uma Operação Urbana consorciada e, portanto, quanto estaria disposto a pagar antecipadamente para ter o direito de usar os CEPAC e, finalmente, quanto o poder público municipal pode se valer deste instrumento, previsto no Estatuto da Cidade, como forma de autofinanciamento da cidade.

#### 4.2 CADASTRO 3D APLICADO À CARACTERIZAÇÃO DE PASSAGEM SUBTERRÂNEA

O procedimento de registro das seis nuvens de pontos e georreferenciamento realizado no software Scene apresentou resultados bastante satisfatórios com tensões mínimas e máximas entre as cenas de 1,4mm a 3,3mm (Figura 92). As tensões entre os alvos individualmente foram de 0,0mm (inclinômetro) a 9,9mm (Sphere35), com média de



2,1mm e desvio padrão de 2,6mm (Figura 93). Os resultados da segunda coleta de dados evidenciaram os cuidados relatados anteriormente quanto ao escaneamento de corredores ou túneis (distâncias menores entre as cenas, quantidade maior de alvos, resolução maior do sensor laser).

Ajustes gerenciados:

Objeto de ajuste	Tensão alvo média	Tensão média de pon...	Varredura/Grupo
ScanFit	0.0033	---	Tese2004
ScanFit	0.0026	---	Tese2003
ScanFit	0.0024	---	Tese2002
ScanFit	0.0022	---	Tese2001
ScanFit	0.0014	---	Tese2000
ScanFit	0.0020	---	Tese2005
References	---	---	Workspace

Figura 92 - Resultado do registro entre as cenas no software Scene.

Referência	Ten...	Varred...	Varredura 2
• Sphere35	0.0099	Tese2004	Tese2005
◦ REF13	0.0082	Tese2004	Tese2005
◦ Sphere31	0.0065	Tese2003	Tese2004
◦ Sphere32	0.0059	Tese2003	Tese2004
◦ Sphere33	0.0059	Tese2003	Tese2004
◦ Sphere15	0.0050	Tese2001	Tese2002
◦ Sphere18	0.0047	Tese2001	Tese2002
◦ Sphere16	0.0046	Tese2001	Tese2002
◦ Sphere25	0.0044	Tese2002	Tese2003
◦ Sphere26	0.0042	Tese2002	Tese2003
◦ Sphere23	0.0040	Tese2001	Tese2002
◦ Sphere29	0.0040	Tese2002	Tese2003
◦ Sphere14	0.0040	Tese2000	Tese2001

Estatísticas			
Média:	0.0021	Desvio:	0.0026
Min.:	0.0000	Máx.:	0.0099

Figura 93 - Resultado das tensões entre os alvos esféricos no software Scene.

#### 4.2.1 Modelagem das parcelas espaciais

Uma vez que os dados da nuvem de pontos originada da varredura a laser terrestre foram devidamente registrados, georreferenciados e inseridos no AutoCAD 2015 (passando pelo Recap, como mencionado no item 3.2.2), deu-se prosseguimento promovendo a modelagem 3D das parcelas em questão. Utilizou-se a mesma numeração dada pelo site do Geoprocessamento Corporativo da Prefeitura de Florianópolis às parcelas da UFSC como sendo 102445 e 101279 do lado oeste e leste da Avenida Prof. Henrique da Silva Fontes, respectivamente. Quanto à

parcela formada pela extensão do logradouro, esta não encontra-se numerada no site (conforme visto no item 4.2.1). Optou-se por apresenta-la sob o codinome “AVENIDA”, embora entende-se que num sistema cadastral em sentido estrito a forma correta seria a de numeração sequencial desta parcela. A disposição territorial das parcelas e a interligação entre si das parcelas da UFSC pela passagem subterrânea está apresentada na Figura 94.

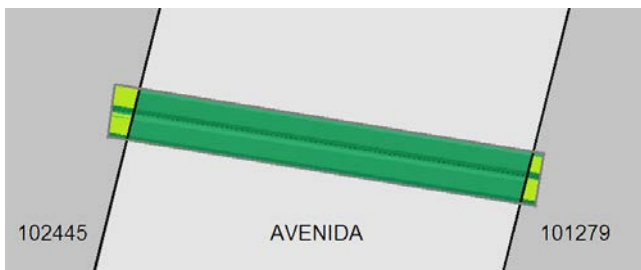


Figura 94 - Parcelas territoriais da UFSC, Avenida e passagem subterrânea.

A Figura 94 mostra que a passagem subterrânea tem origem em cada uma das parcelas territoriais da UFSC e se estende por toda a avenida. Observando a Figura 95 numa vista de perfil da passagem subterrânea tem-se uma ideia melhor da conformação dos planos e de como está configurado o problema de sobreposição do direito de propriedade na parcela Avenida. Há claramente um plano de superfície topográfica na qual estão assentados as seis pistas de rolamento, os passeios, a ciclovia e o canteiro central. A parcela Avenida, fazendo parte do Cadastro, estaria registrada em nome da Prefeitura de Florianópolis. Sob a parcela Avenida há um segundo plano por onde se desenrola a passagem (em verde). Este plano configura uma situação nova e passaria a fazer parte do Cadastro com uma identificação própria e registrada em nome da UFSC.

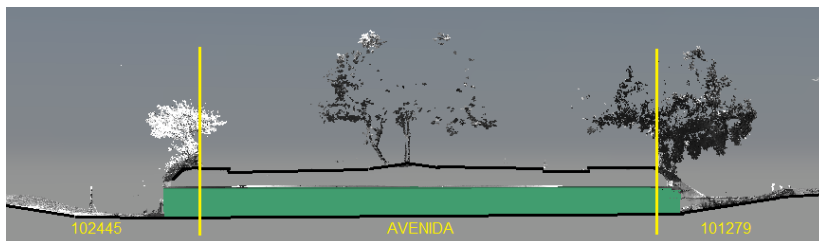


Figura 95 - Vista em perfil das parcelas da UFSC, Avenida e passagem subterrânea.

Ambos os planos, o da Avenida e o da passagem, possuem regimes jurídicos distintos. A parcela Avenida é bem público, inalienável e não suscetível de usucapião, provavelmente resultante de desapropriação quando da instalação da estrutura de circulação (pistas de rolamento, passeios, canteiro central e ciclovia). As parcelas 102445 e 101279 possuem matrículas próprias e integram o imóvel pertencente à UFSC, autarquia federal com personalidade jurídica própria.

A modelagem do problema do direito de propriedade da passagem subterrânea parece apontar para a existência de uma espécie de servidão de passagem, embora de natureza distinta daquela que normalmente ocorre. Uma servidão de passagem é entendida, no Direito Civil, como uma servidão de trânsito, ou itinerária, que permite a passagem por uma propriedade vizinha. Assim, para se alcançar uma via pública ou uma autoestrada, por vezes faz-se necessário que se institua uma servidão de passagem, sendo que esta é perpétua (a não ser que caia em desuso) e inalienável. Como uma servidão não se estabelece de forma presumida é preciso que a sua materialização se dê através de escritura pública devidamente registrada. Constituindo direito real destinado a melhorar o uso do imóvel, a servidão é caracterizada por permitir o acesso de uma propriedade à via pública através de outra propriedade, o que não se encaixa totalmente no problema acima, já que o acesso, nesse caso, é “através” da via pública ligando duas partes de um mesmo imóvel. Ainda assim, embora a figura da servidão esteja ligada ao direito de superfície, foi a que nos pareceu melhor representar a configuração da sobreposição de direito para a passagem subterrânea e podendo ser aplicada em outros casos, restando saber como poderia ser registrada.

Levando em consideração os modelos de advertências, híbridos e completo de Cadastro 3D propostos por Stoter et al. (2004a), Ploeger e Stoter (2004) e Oosterom *et al.* (2004) chegou-se aos seguintes resultados:

- i. No modelo de Cadastro 2D com advertências 3D a passagem subterrânea seria registrada através da matrícula da parcela Avenida, que passaria a conter uma advertência de que sob aquela parcela, a -4,084m de altitude, encontra-se uma servidão de passagem que liga as parcelas 102445 e 101279. Neste modelo, a delimitação da parcela territorial, sua matrícula e o aviso de existência da servidão de passagem seriam suficientes para caracterizar a situação;
- ii. No modelo de Cadastro 3D híbrido o volume correspondente à parcela formada pela passagem subterrânea seria registrado em nome da Prefeitura de Florianópolis como uma servidão de passagem com limites máximos e mínimos de altitude ortométrica (8,135m e 5,776m, respectivamente). A parcela Avenida seria desmembrada dando origem a uma nova parcela territorial correspondente à projeção do volume na superfície e permaneceria registrada como bem público (Figura 96). A codificação desta nova parcela seguiria a lógica de numeração já adotada (sequencial, por hierarquia territorial, por combinação de coordenadas do centroide da parcela, etc.). As parcelas remanescentes da Avenida também receberiam novos códigos. A parcela espacial continuaria vinculada à parcela territorial e sua codificação faria referência a esta com indicação positiva ou negativa, ou com a utilização de códigos-espelhos (parcela territorial 152, parcela espacial 452, por exemplo). No caso da passagem subterrânea em questão, as coordenadas bidimensionais dos vértices da parcela territorial desmembrada seriam os apresentados no Quadro 4. Neste modelo, o desmembramento de uma parcela territorial e o registro de uma parcela espacial delimitada com altitude mínima e máxima seriam suficientes para equacionar o problema; e,
- iii. No modelo de Cadastro 3D completo a parcela espacial correspondente à passagem subterrânea seria configurada independentemente de sua vinculação ou sobreposição na vertical com as parcelas territoriais e seria registrada em nome da UFSC como um volume definido pelos vértices delimitadores (Figura 97). Esta é certamente a solução mais complexa e distante de implementar, haja vista que

uma série de reformas na legislação deveriam ser feitas. As coordenadas tridimensionais dos vértices definidores da parcela espacial deste modelo estão apresentadas no Quadro 5.

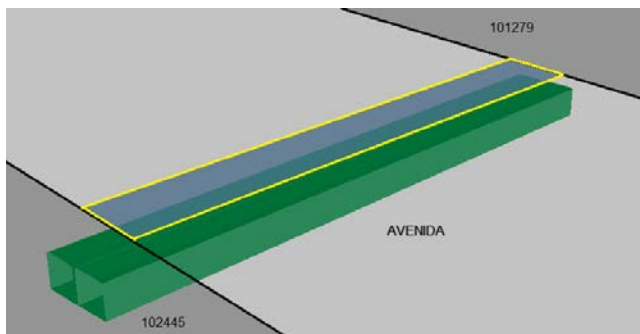


Figura 96 - Desmembramento de parcela territorial no modelo híbrido de Cadastro 3D

Quadro 4 – Vértices da parcela territorial desmembrada no modelo híbrido de Cadastro 3D (Fuso 22S Sirgas2000)

Vértice	Coord. Norte (m)	Coord. Este (m)
1	6944755.4083	745125.3949
2	6944760.4639	745126.6355
3	6944749.2778	745164.0874
4	6944754.3095	745165.3311

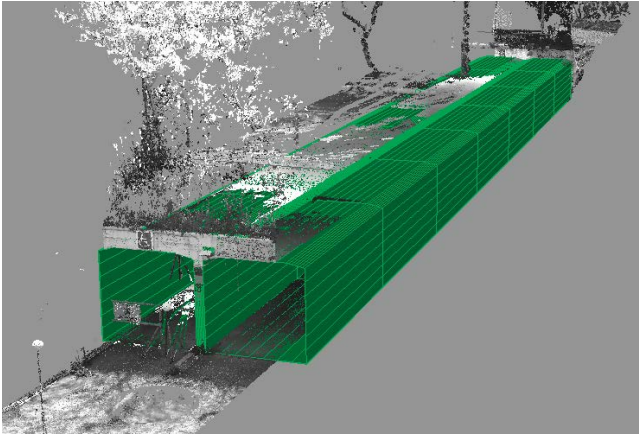


Figura 97 - Caracterização da parcela espacial no modelo completo de Cadastro 3D.

Quadro 5 – Vértices da parcela espacial no modelo completo de Cadastro 3D (Fuso 22S Sirgas2000)

Vértice	Coord. Norte (m)	Coord. Este (m)	Altitude ortométrica (m)
1	6944754.1772	745166.3882	5.9504
2	6944749.0786	745165.5587	5.9258
3	6944749.0836	745165.5832	8.0065
4	6944749.4675	745165.6313	8.1009
5	6944753.7343	745166.2933	8.0852
6	6944754.1630	745166.3462	7.9782
7	6944755.7678	745123.4380	5.7827
8	6944755.7754	745123.4278	8.0443
9	6944756.2182	745123.4791	8.1357
10	6944760.4745	745124.1922	8.1345
11	6944760.8677	745124.2137	8.0240
12	6944760.8893	745124.2352	5.7840

## **5 DISCUSSÃO: PRINCÍPIOS NORTEADORES PARA O CADASTRO 3D NO BRASIL**

Ao lado da promulgação da Lei Federal N° 10.267/2001 (Brasil, 2001) que se ocupa da criação do georreferenciamento e certificação de imóveis rurais, a publicação da Portaria Ministerial N°511/2009 – Diretrizes para o Cadastro Territorial Multifinalitário, pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2009), voltada para o ambiente urbano, constitui-se num outro importante marco recente no processo pela implantação de um modelo cadastral em nosso país. A portaria não possui força de lei, mas expressa os resultados de anos de discussão entre diversos setores envolvidos (técnico, administrativo, legal, registral, tecnológico, acadêmico, entre outros) com base na experiência internacional e na realidade local e contribui enormemente para a consolidação de princípios cadastrais comuns ao redor do mundo. Configura um esboço que tem sido objeto de novos estudos e pesquisas acadêmicas, e que, portanto, pode ser melhorado a fim de tornar-se, espera-se, projeto de lei a regulamentar o funcionamento de um modelo cadastral brasileiro no futuro. Totaliza 38 artigos distribuídos em sete capítulos que abordam desde definições dos elementos de que se compõe o Cadastro até questões estruturais, funcionais e de responsabilidade.

Como forma de contribuição e como resultado desta pesquisa, este capítulo resume um conjunto de princípios relacionados ao Cadastro 3D que podem ser aproveitados para a reformulação da Portaria Ministerial N°511/2009 tornando-a mais abrangente para englobar a terceira dimensão em seus artigos.

Os seguintes princípios norteadores são a combinação das ideias sedimentadas ao longo da redação da presente tese e da fundamentação de diversos autores sobre os quais se apoiam e são apresentados como mais uma colaboração no sentido de uma futura instituição de Cadastro no Brasil.

### **5.1 PRINCÍPIO UM: DA UNIDADE CADASTRAL TRIDIMENSIONAL**

Conforme se apreende do documento “Cadastro 2014” (Kaufmann e Steudler, 1998) o objeto territorial legal é aquele no qual a unidade principal é um objeto legal com uma parcela física associada. Em outras palavras, uma entidade constituída por interesses sobre a terra que têm uma dimensão espacial, em contraste com o modelo de parcela territorial puramente físico em que essa parcela é o objeto primário. O

foco está em preservar a homogeneidade dos atributos legais ao criar um modelo de dados expansível com base em um objeto espacialmente indexado. É, portanto, como visto anteriormente, um conceito suficientemente abrangente para incorporar a terceira dimensão permitindo modelar o Cadastro sob a forma de direitos, restrições e responsabilidades a serem registrados espacialmente e, ainda, acomodar novas legislações, interesses e bens no sistema (KARKI *et al.*, 2010).

Viu-se também que para o documento “Cadastro 2014” a parcela territorial – que foi a unidade básica dos sistemas cadastrais nos últimos dois séculos – passou a ser tratada como objeto territorial (Land Object – LO) e definida como “toda porção finita e homogênea do território, por sua natureza ou por acessão”. Na medida em que há uma definição amparada legalmente, esse objeto – a parcela – passa a ser denominada objeto territorial legal (Legal Land Object – LLO). A fim de extrapolar esse conceito visando a incorporar definitivamente a terceira dimensão, pode-se definir a parcela espacial da através do seguinte princípio norteador:

*A PARCELA ESPACIAL É TODA PORÇÃO LEGALMENTE FINITA E HOMOGÊNEA DO ESPAÇO, POR SUA NATUREZA OU POR ACESSÃO.*

## 5.2 PRINCÍPIO DOIS: DA COMPLETUDE DO CADASTRO 3D

O mapeamento das parcelas espaciais merecerá algumas considerações importantes. Mapear é uma atividade que tradicionalmente envolve coleta de dados de campo com a finalidade de plotar os dados na forma de um mapa impresso ou introduzi-los em uma base de dados informatizada. Para o Cadastro 3D, países diferentes adotaram diversas formas de integrar os dados no sistema cadastral existente, por isso não existe uma abordagem homogênea até o presente momento. No entanto, todos são baseados no modelo de dados de parcelas territoriais físico.

Há várias semelhanças entre as abordagens dos dois modelos de dados – 2D e 3D – para a atividade de mapeamento. Ambos precisam de dados coletados a partir de alguma fonte, principalmente a partir de levantamentos de campo, precisam ter verificações de erros e ajustes, validação técnica de representação adequada e tipo de geometria de armazenamento, além de técnicas de manipulação de dados e outras regras próprias de banco de dados.



A validação de consistência geométrica e topológica de parcelas territoriais é relativamente mais fácil, enquanto que em relação às parcelas espaciais é muito mais difícil de pôr em prática rotinas de validação de consistência em um sistema de testes rigoroso e automatizado. Por exemplo, verificar se uma parcela espacial forma uma figura fechada como na Figura 98 é uma tarefa muito mais complexa do que para verificar se uma parcela territorial está fechada. Este tipo de validação é necessário tanto para a parcela territorial como para o objeto territorial legal – seja bi ou tridimensional.

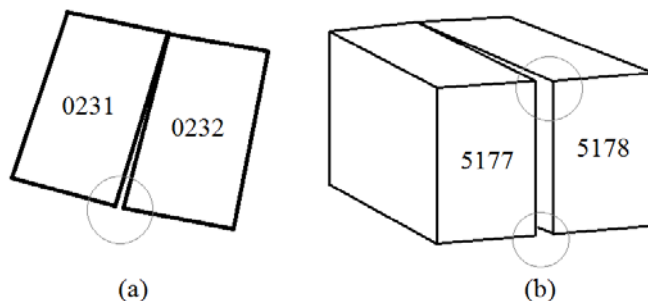


Figura 98 - Diferença de complexidade entre validação geométrica e topológica de parcelas territoriais (a) e espaciais (b).

Numa situação estratificada, o modelo físico atual utilizado em vários países e baseado na parcela registra tanto a parcela territorial, como o título dos estratos. No entanto, em situações complexas como a da Figura 99, que pode ser uma abertura no espaço vertical causada pela remoção de objetos territoriais legais tridimensionais a partir de uma coluna de espaço, cria-se uma situação difícil de manusear para um modelo baseado na parcela territorial física.

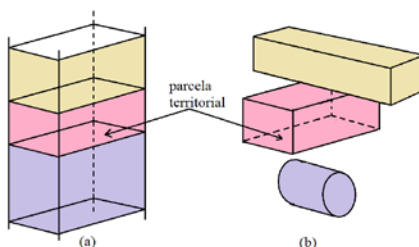


Figura 99 - Parcelas espaciais sucessivas relacionadas à parcela territorial (a) e arranjo complexo com lacunas entre as parcelas espaciais (b).

Do ponto de vista de um objeto territorial legal, a extensão da parcela espacial poderia ser registrada com os vários estratos como entidades com diferentes atributos legais. As partições verticais sucessivas seriam tratadas muito bem pelo modelo de dados de objetos territoriais legais; no entanto, na situação em que há uma lacuna não utilizada entre os vários estratos, as regras de validação geométricas falhariam na medida em que haveria espaços entre as colunas não contabilizados criando, assim, muito mais um problema geométrico do que de modelagem. Portanto, em relação às parcelas espaciais, embora o modelo de objeto territorial permita um processo de registro relativamente eficiente, não há nenhuma vantagem de um sobre o outro – bidimensional – para manipulação geométrica e validação. Muito pelo contrário, a complexidade é crescente e se considerar a ideia de *completude bidimensional* do Cadastro territorial (continuidade e contiguidade entre as parcelas), esta não poderia ser alcançada plenamente em três dimensões no Cadastro 3D.

Notadamente, nos Cadastros territoriais as parcelas bidimensionais são contínuas (não sofrem interrupção na sua extensão territorial) e contíguas entre si (formando uma “colcha de retalhos” ou um “quebra-cabeças” em duas dimensões concorrendo para completar toda a extensão de uma unidade administrativa, com um município, por exemplo). Em relação ao Cadastro 3D, pode-se expressar o seguinte princípio norteador:

***AS PARCELAS ESPACIAIS SÃO CONTÍNUAS EM TRÊS DIMENSÕES, MAS NÃO SÃO CONTÍGUAS ENTRE SI EM TODAS AS SITUAÇÕES.***

### 5.3 PRINCÍPIO TRÊS: DA IDENTIFICAÇÃO DA PARCELA ESPACIAL

Sobre a identificação das parcelas espaciais preservam-se os princípios de unicidade e estabilidade adotados no Cadastro territorial. Segundo estes princípios os códigos identificadores de uma parcela são únicos e não se repetem. A ideia geral é a de que cada vez que haja uma alteração na definição geométrica da parcela, um novo código lhe seja atribuído. Este novo código tem de ser único e exclusivo; o que significa que não pode já ter sido utilizado por qualquer outra parcela ao longo da historicidade dos registros. Desta forma, as parcelas antigas mantêm os seus códigos e, tendo sido modificadas geometricamente, são

desativadas, mas mantidas nos bancos de dados com indicação de quais operações lhe foram imputadas e a quais novas parcelas estão ligadas, garantido que a sucessão das modificações possa ser compreendida e recuperada a qualquer instante.

Numa tentativa de equacionar a questão do registro de parcelas espaciais, alguns países estudaram ou adotaram soluções híbridas nas quais a identificação da parcela acima ou abaixo da superfície faz menção à identificação da parcela espacial (Israel, Grécia, Turquia, entre outros). Dentre estes, pode-se citar como emblemático o modelo proposto para Israel apresentado em Forrai e Kirschner (2003), no qual considera-se cada parcela espacial acima ou abaixo da superfície com uma sub-parcela da parcela territorial e “pertencente” a esta. A identificação das tais sub-parcelas segue uma lógica de códigos positivos (+) e negativos (-) para indicar se elas estão acima ou abaixo da superfície, respectivamente, e se elas estão em contato com a parcela territorial. Muito embora, a solução do modelo pareça atrativa, ela provavelmente ocasionaria uma situação de maior complexidade ao ter de subdividir parcelas espaciais em unidades cada vez mais fragmentárias. A Figura 100 mostra um exemplo de caracterização de sub-parcelas espaciais através das parcelas territoriais apresentado pelos próprios autores referente à construção de um túnel (*Carmel Tunnel*) na cidade de Haifa, norte de Israel.



Figura 100 - Representação gráfica da carta cadastral em projeção ortogonal e caracterização das sub-parcelas espaciais no modelo proposto em Israel. Fonte: Adaptado de Forrai e Kirschner (2003).

A solução proposta para a identificação das parcelas espaciais desta forma não se mostra muito estável ao longo do tempo e parece prever que as parcelas espaciais não sofrerão alterações na sua forma geométrica, o que acarretaria a necessidade de utilização de novos identificadores únicos.

Pimentel *et al.* (2010) apresenta um resumo analítico sobre diferentes estratégias para identificação de parcelas no Cadastro territorial e aponta para o cenário brasileiro os três principais modelos com sendo: i) o modelo de identificação hierárquico territorial (divisão do território em unidades administrativas cada vez menores até que se chegue ao nível da parcela); ii) o modelo de identificação por centroides (criação de uma sequência combinada com coordenadas X e Y do centroide da parcela); e, iii) o modelo de identificação numérica sequencial. Destes, os dois primeiros nos parecem não ter aplicação prática no Cadastro 3D para identificação de parcelas espaciais, seja pela dependência territorial do modelo hierárquico que é superada pela adição da terceira dimensão, seja pela excessiva complexidade do modelo de centroides que precisaria de três coordenadas para a geração de um único código (além de outras severas limitações como a possibilidade de que o centroide se localize fora da parcela). A terceira alternativa parece ser a mais simples, tanto em relação à questão cadastral, quanto em relação à implementação computacional.

Independentemente da forma com que se dará a identificação das parcelas, preservam-se inalteradas as regras e pode-se expressar o seguinte princípio:

***O IDENTIFICADOR DA PARCELA ESPACIAL DEVE SER ÚNICO E ESTÁVEL.***

#### 5.4 PRINCÍPIO QUATRO: DA HIERARQUIA DIMENSIONAL DO CADASTRO

A situação apresentada acima a respeito da identificação das parcelas espaciais demonstra que, em linhas gerais, os modelos de Cadastro 3D são derivados dos modelos de Cadastro 2D e que tem-se tentado em muitos casos manter uma relação do tipo um-para-um entre a parcela territorial e a parcela espacial. Esta abordagem cadastral tende a sedimentar o Cadastro 3D de forma dependente do Cadastro 2D, como se aquele fosse um subconjunto de dados deste, situação que corresponde ao modelo de dados cadastral híbrido de extensão 3D de direitos apresentado por Oosterom *et al.* (2004) e Oosterom *et al.* (2006). Outros autores como Dimopoulou, Gavanas e Zentelis (2006), Aien e Kalantari, *et al.* (2011) e Aien e Rajabifard, *et al.* (2011) propõem uma visão inversa, na qual a dimensionalidade estabelece também uma hierarquia em termos de modelo de dados, correspondente ao modelo de dados de Cadastro completo. Nesta perspectiva, o Cadastro 2D é que

seria um subconjunto de dados dos demais Cadastros – denominados “supra 2D”, como o 3D, 4D, 5D, etc. – e a parcela territorial corresponderia à projeção ortogonal da parcela espacial que intercepta a superfície topográfica. Nos casos em que a parcela espacial não está submetida a esta interseção, seja por estar totalmente delimitada acima ou abaixo da superfície, não há que se tentar estabelecer uma relação entre esta e a parcela territorial. Em concordância com esta visão, expressou-se como premissa nesta pesquisa a abordagem hierárquica multidimensional presente em um Cadastro 3D completo resumida no seguinte princípio:

*A PARCELA TERRITORIAL É UM SUBCONJUNTO DE DADOS DA PARCELA ESPACIAL QUE INTERCEPTA A SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA.*

## 5.5 PRINCÍPIO CINCO: DA REPRESENTAÇÃO DA PARCELA ESPACIAL

Diferentemente das parcelas territoriais, sobre as quais é possível aplicar as diversas formas de levantamento topográfico para identificar a real situação da ocupação territorial ou para se definir onde começa e onde termina a extensão registrada da parcela, em relação às parcelas espaciais estes mesmos processos não podem ser aplicados na totalidade dos casos. A demarcação com marcos topográficos implantados nos limites das parcelas territoriais segue padrões e normativas que permitem que sempre que haja qualquer dúvida sobre os mesmos um novo levantamento possa ser efetuado e as devidas comparações e atualizações realizadas. No caso das parcelas espaciais, trata-se em termos não de demarcação – haja vista a impossibilidade de se implantar um marco “flutuante” ou “aterrado” de divisa entre parcelas – mas de delimitação. A discussão em termos internacionais segue um caráter sobre como delimitar tais parcelas espaciais e, ainda mais, como registrar esses limites.

Para o Brasil, uma solução possível seria que as parcelas espaciais se limitassem acima e abaixo da superfície por parâmetros urbanísticos de uso comum nas municipalidades como o coeficiente de aproveitamento do lote urbano ou o gabarito, o que fosse alcançado primeiro considerando o cálculo total da parcela espacial. As leis de uso e ocupação do solo são elaboradas em nível municipal considerando as características e padrões construtivos locais, bem como os interesses sociais, mas, em geral, são omissas em relação a quanto se pode

construir abaixo da superfície permitindo inclusive que a taxa de ocupação possa ser de 100%, o que caracteriza um tratamento bem diferente entre o que está acima da superfície (e, portanto, pode ser visto) e o que está abaixo desta (e, portanto, não pode ser visto).

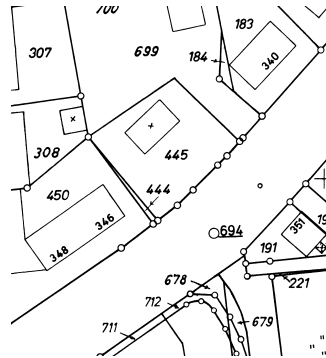


Figura 101 - Aspecto típico de uma carta cadastral.

Como produto do levantamento sistemático e demarcação das parcelas territoriais tem-se a carta cadastral, que é o documento que contém a descrição do território por meio de uma representação gráfica (Figura 101). Na definição da carta cadastral estão presentes alguns elementos, tais como: o sistema de coordenadas, o sistema de projeção cartográfica, o sistema de referência, as escalas gráfica e numérica, os atributos da representação gráfica das parcelas e o código unívoco identificador da parcela. Todo este processo tem como objetivo proporcionar ao sistema de administração territorial uma ferramenta adequada de representação da realidade parcelar, normalmente com a utilização de algum tipo de projeção ortogonal que permita uma vista de topo do território.

O processo de delimitação sistemático das parcelas espaciais, entretanto, não tem como finalidade a alimentação de uma carta cadastral haja vista que a inserção da terceira dimensão altera completamente a natureza da representação e carece de novas ferramentas que permitam ao sistema de administração territorial gerar produtos que simulem a realidade contínua tridimensional na qual as parcelas espaciais estão inseridas. Por isso, os autores internacionais tem se dedicado a desenvolver modelos cadastrais 3D, flexíveis o suficiente para gerar visualizações das parcelas delimitadas espacialmente em qualquer ângulo, conforme a necessidade do usuário (Figura 102). Neste

cenário, e considerando a parcela territorial como um subconjunto da parcela espacial, pode-se afirmar que:

*A CARTA CADASTRAL DO CADASTRO TERRITORIAL CORRESPONDE A UM EXTRATO DO MODELO DE DADOS DO CADASTRO 3D.*

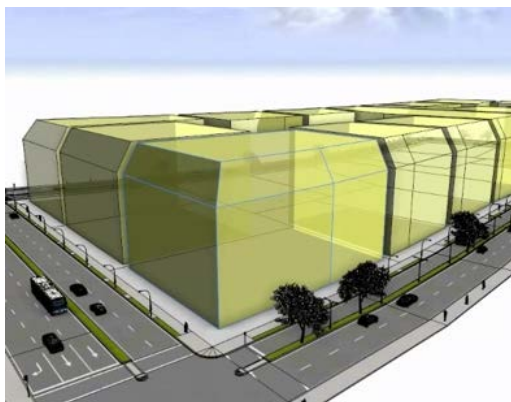


Figura 102 - Aspecto típico dos modelos de dados cadastrais tridimensionais.  
Fonte: Esri CityEngine website.

## 5.6 PRINCÍPIO SEIS: DAS REFERÊNCIAS ESPACIAIS DO CADASTRO 3D

Retomando a questão da completude espacial e, levando em conta a delimitação das parcelas espaciais, percebe-se que a literatura internacional aponta para um processo gradual de incorporação da terceira dimensão aos modelos cadastrais, de modo que nos estágios iniciais o Cadastro 3D apresenta soluções pontuais para os casos nos quais a representação ou a delimitação parcelar bidimensional se apresenta insuficiente para resolver questões relacionadas à sobreposição de interesses, direitos, responsabilidades ou restrições sobre a terra. Certamente, no cenário brasileiro esta incorporação também se dará de maneira lenta e gradual e por interesse particular em determinadas aplicações, encontrando obstáculos tanto do ponto de vista técnico-tecnológico quanto jurídico.

A questão sobre a delimitação das parcelas espaciais abre outra discussão a respeito da estrutura de referência espacial na qual as coordenadas definidoras dos limites estão amarradas. Para as parcelas

territoriais, a sua definição geométrica enquanto objeto territorial é realizada por meio da atribuição de coordenadas planimétricas referenciadas a um *Datum* horizontal cuja superfície de cálculo é o elipsoide de revolução definidor do sistema de referência. Para as parcelas espaciais há uma terceira coordenada – a vertical – que não compartilha do mesmo *Datum* das duas anteriores. Para as coordenadas verticais, o *Datum* de referência deve ser aquele relativo à superfície geoidal, de forma que se possa sempre trabalhar com altitudes ortométrica em vez das geométricas. Inevitavelmente, a parcela espacial adotará dois *Data* distintos, sendo um planimétrico e um altimétrico, e, portanto, precisões diferentes em relação ao par de coordenadas planas (X,Y) e à coordenada vertical (Z).

No Brasil, o *Datum* horizontal está definido desde fevereiro de 2005 como sendo o SIRGAS2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas em sua realização do ano de 2000, que utiliza o elipsoide geocêntrico internacional GRS80. O *Datum* vertical está definido como tendo origem nas observações maregráficas de Imbituba-SC e utiliza o modelo geoidal brasileiro denominado Mapgeo2010. São, portanto, duas estruturas de referência espacial distintas que utilizam superfícies diferentes para a realização de cálculos (elipsoide de revolução e geóide, respectivamente).

Embora não tenha sido o objeto desta pesquisa, a relação entre estas duas superfícies, suas estruturas de referência espacial e suas precisões na delimitação de parcelas espaciais do Cadastro 3D pode ser um aspecto interessante a ser explorado em trabalhos futuros no cenário nacional. Navratil e Unger (2013) publicaram um estudo recente sobre as exigências do Cadastro 3D para medidas verticais com análise sobre os benefícios e desvantagens de cada um dos tipos de altitude possíveis de serem utilizados como referência para a coordenada Z. Apontaram que pequenos países com superfície plana estão aptos a utilizar qualquer um dos sistemas, mas países com grande extensão territorial ou desníveis consideráveis precisarão levar em conta estes fatores; que em alguns casos um referencial local e relativo será suficiente para prover a informação altimétrica para o Cadastro 3D, mas que em outros casos será necessário contar com sistemas de referência nacionais absolutos; e, ainda, que de maneira análoga ao Cadastro territorial, a precisão das coordenadas altimétricas num Cadastro 3D não será necessariamente homogênea, variando conforme o valor da terra. Por ora, adotou-se o seguinte princípio norteador:



*A PARCELA ESPACIAL É DELIMITADA COM COORDENADAS CARTESIANAS TRIDIMENSIONAIS, SENDO X E Y REFERENCIADAS AO DATUM PLANIMÉTRICO E Z REFERENCIADA AO DATUM ALTIMÉTRICO OFICIAL.*

## 5.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS E A TERCEIRA DIMENSÃO

Ainda um aspecto que merece menção é o da quantificação do valor das parcelas, sejam territoriais ou espaciais. Karki *et al.* (2010) afirma que a avaliação de terra é uma parte muito importante de qualquer sistema cadastral, uma vez que fornece a base para a administração fiscal, bem como facilita a transação de terra, fornecendo uma indicação confiável e autorizativa do mercado imobiliário. Impostos coletados durante transações imobiliárias, bem como outros direitos, tais como impostos sobre a terra e as taxas, por vezes, dependem da avaliação da terra no sistema de administração territorial. Embora o valor de uma propriedade seja geralmente definido pelo mercado imobiliário em vigor, a avaliação em massa de propriedades é frequentemente praticada por autoridades da administração da terra para determinar valorizações das propriedades onde nenhuma informação recente do mercado está disponível. Todos estes apontamentos tem, obviamente, o mesmo viés bidimensional, já que não está claro – e esta é uma das questões não resolvidas sobre o Cadastro 3D – como as parcelas espaciais são avaliadas.

Naturalmente, se em outros sentidos é possível realizar uma extrapolação dimensional e levar os conceitos da segunda para a terceira dimensão, na questão relativa à avaliação do valor da parcela, deveria acontecer o mesmo. Ou seja, se hoje os valores das parcelas territoriais (registradas em  $m^2$ ) são a referência para a taxação sobre a propriedade ou sobre as transações no mercado imobiliário na mesma dimensão ( $R\$/m^2$ , por exemplo), há de se imaginar que a avaliação sobre as parcelas espaciais (registradas em três dimensões, diga-se em  $m^3$ ) passariam a ser avaliadas também na mesma dimensão sobre uma quantidade do espaço tridimensional volumétrico ocupado por tais parcelas (em  $R\$/m^3$ , por exemplo).

Entretanto, os autores da área tem atualmente estado focados nos aspectos geométricos (que técnica de representação utilizar, o que representar, como e o que medir, como validar, etc.) e de armazenamento (o modelo a utilizar, como armazenar e manipular, como validar, etc.). Assim que este conteúdo for resolvido e a estrutura

das técnicas de geometria e de manipulação de recurso forem finalizados, imagina-se que surgirão métodos que ajudem a determinar a forma de registro ideal, de modo que mais investigação precisa ser feita para sedimentar os impactos técnicos, jurídicos e administrativos (aqui incluídos os impactos fiscais) relacionados ao Cadastro 3D, bem como a flexibilidade necessária para se adaptar a esquemas existentes e futuras inovações.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora pareça trivial, a percepção contínua e tridimensional do espaço, e as consequentes implicações desta noção sobre a propriedade do território e suas sobreposições, só começou a ser transferida para o escopo do Cadastro há poucos anos. Mesmo movendo-se e estando imersos em um ambiente que se apresenta em três dimensões permanentemente ao sentido da visão – com acima e abaixo, perto e longe, à direita e à esquerda, à frente e atrás, a humanidade se acostumou a desenvolver formas eficazes de representar aquilo que se vê em apenas duas dimensões e ciências como a Cartografia, por exemplo, se originaram imersas neste paradigma e para atender a tal objetivo. Tal fenômeno conduziu a uma redução dimensional que, se por um lado pareceu adequada durante muitos séculos, agora parece dar mostras de não atender mais às exigências de inovações tecnológicas e interesses na coleta, processamento, armazenamento e representação de dados sobre o espaço.

De tempos em tempos, o desenvolvimento de novas ferramentas capazes de executar as tarefas elencadas acima de maneira mais detalhada, mais rápida, mais eficaz ou sob aspectos antes não explorados promove mudanças estruturais e funcionais em determinadas áreas e impulsiona a revisão e atualização de conceitos e paradigmas. Assim aconteceu, ao longo do tempo, com os adventos da Astronomia moderna, da Fotogrametria, da Computação, do mapeamento por satélite, do GNSS, entre outros, e, agora mais recentemente, da varredura a laser aérea ou terrestre.

Presentemente, pesquisadores da área de Cadastro e agências que se ocupam de gerir dados cadastrais ao redor do mundo têm realizado esforços num movimento em direção à multidimensionalidade cadastral. Tal mudança só se tornou possível dentro de uma realidade conduzida por dois vetores determinantes. O primeiro vetor é de natureza tecnológica e diz respeito ao fato de as tarefas citadas anteriormente (coleta, processamento, armazenamento e representação de dados espaciais) terem se tornado passíveis de execução em grande volume e em curto espaço de tempo incluindo a terceira dimensão – o que era bastante custoso ou mesmo impossível até poucos anos atrás. Neste sentido, a tecnologia de varredura a laser se destaca pelas características próprias da grande quantidade de pontos coletados e pelo detalhamento dos alvos levantados. O segundo vetor é de natureza antrópica sobre o próprio território e diz respeito ao adensamento cada vez maior das ocupações urbanas, o que conduz ao uso intensivo e complexo de

espaços sobre e sob a superfície terrestre. Como o Cadastro desde início teve seus princípios apoiados na representação de parcelas do território em duas dimensões, vê-se agora forçado a uma mudança de paradigma para incorporar a terceira dimensão. Ao Cadastro, permanecer exclusivamente bidimensional significa um duplo equívoco: deixar escapar a possibilidade de se beneficiar do primeiro vetor e deixar de atender ao segundo.

Tal afirmação não significa, entretanto, que se pretenda abandonar os avanços na área cadastral que se consolidaram internacionalmente, até então, em duas dimensões. Países como o Brasil, que sequer adotaram formalmente um modelo cadastral, em muito se beneficiariam com a organização de suas informações cadastrais de forma tradicional, interligadas com o registro, segmentadas em parcelas territoriais, definidas pelas coordenadas de seus vértices, com identificação inequívoca, representadas em cartas cadastrais sistematicamente ordenadas, etc. Todavia, mesmo sem a estruturação nacional de um Cadastro territorial unificado (urbano e rural) e completo (contíguo), é possível perceber uma diversidade de situações nas quais o registro em duas dimensões por si só será insuficiente para representá-las adequadamente e outras em que há benefícios diretos na inserção da terceira dimensão.

Em linhas gerais, este é o cenário internacional sobre o Cadastro 3D. Nenhum país abandonou as suas estruturas cadastrais bidimensionais, já que elas respondem de maneira adequada a uma larga porção das ocorrências, mas muitos países adentraram a um período de transição entre estas estruturas tradicionais e novas estruturas que permitam tratar melhor os casos citados nesta pesquisa. Como as discussões sobre materializar um Cadastro 3D é recente, há uma variedade de possibilidades conceituais em discussão.

Avaliando uma extensa bibliografia internacional, percebe-se que o conceito de Cadastro 3D não está totalmente sedimentado e que, em resumo, aponta em direções diferentes. Uma primeira direção preza pela manutenção da estrutura bidimensional em toda a extensão do território, mas modela as edificações em 3D com o auxílio de modernas tecnologias (incluindo a varredura a laser) para criar cenários urbanos ou permitir análises mais precisas sobre problemas relacionados à ocupação nas cidades. Outra prevê a manutenção da estrutura cadastral bidimensional à qual se interligam casos pontuais tridimensionais relacionados ao direito de propriedade quando há sobreposição de parcelas espaciais. Em ambos os cenários, o conceito de Cadastro 3D é hierarquicamente inferior ao 2D, já que deriva deste último e compõe

uma espécie de camada ou de tema associado ao Cadastro territorial. Este parece ser um caminho natural que muitos países têm seguido para permitir que convivam as estruturas bi e tridimensional no Cadastro – que se aplicaria com maior facilidade ao cenário brasileiro – e que sustentaram os dois experimentos realizados nesta pesquisa. Ambos demonstraram a exequibilidade da integração entre dados originados de varredura a laser com a finalidade de aplicação em Cadastro 3D no cenário nacional.

No cálculo hipotético do potencial adicional de construção em Joinville-SC a análise tridimensional não se aplicaria a toda extensão da área urbana, mas apenas à área de interesse para operações urbanas consorciadas, normalmente onde há alta valorização e interesse do setor privado capaz de subsidiar tal ação. Um conceito de Cadastro 3D sobre a superfície topográfica foi aplicado a um conjunto de quadras nas quais reconstruiu-se o cenário urbano com a partir da combinação de dados de varredura a laser (altura e volumetria) e aerofotogrametria (parcelas e projeção das edificações) para permitir a elaboração de novos cenários e análises. O caso explorado, envolvendo um instrumento do Estatuto da Cidade e a utilização de dados oriundos de varredura a laser, mostrou que há potencial para a aplicação de conceitos de Cadastro 3D sobre a legislação urbanística brasileira.

Na caracterização da passagem subterrânea da UFSC buscou-se a representação de um caso sob a superfície topográfica relacionada à sobreposição de parcelas espaciais e, portanto, de direitos, restrições e responsabilidades a ser alcançada por um Cadastro 3D. Neste caso, o conceito de Cadastro 3D aplicado é circunscrito envolvendo apenas as parcelas que se sobrepõem, sem prejuízo das demais parcelas que compõem o Cadastro territorial. Também neste caso, a caracterização em três dimensões da sobreposição das parcelas abre caminho para novos estudos sobre Cadastro 3D.

Em outra direção, as definições dos autores internacionais e os exemplos de alguns países apontam para um Cadastro 3D chamado ‘completo’ cuja hierarquia é superior ao Cadastro territorial. Conceitualmente, estas são as definições mais abrangentes e que inspiraram a elaboração dos princípios elencados no Capítulo 5 desta pesquisa. Embora sejam de implementação mais complexa que as anteriores – ao ponto de existirem apenas na forma de modelos de dados – entende-se que a sua adoção, ao menos em termos conceituais, poderá fornecer grande contribuição na atualização do texto das Diretrizes para o Cadastro Territorial Multifinalitário.

A fim de que se dê continuidade a este trabalho, alguns direcionamentos podem ser tomados por trabalhos futuros no sentido de aprofundar aspectos aqui tratados superficialmente ou de explorar novos aspectos do Cadastro 3D contribuindo para o melhoramento e sedimentação de conceitos na área.

Recomenda-se a realização de estudos futuros sob o ponto de vista do Cadastro 3D especificamente sobre redes de infraestrutura sob a superfície – haja vista a sua multiplicação em nossas cidades – e sua relação com o Cadastro Territorial. No rol dos estudos futuros também pode-se sugerir maiores aprofundamentos relativos à implementação de cenários urbanos via parametrização apoiados em legislação urbanística e conceitos de Cadastro 3D.

Este trabalho abordou apenas de passagem a questão das relações entre as superfícies de referência bidimensional no plano (elipsoide) e vertical (geoide), as precisões das redes de tais redes de referência e sua influência na delimitação de parcelas espaciais, bem como as questões topológicas associadas, de tal forma que a partir desse conjunto de aspectos podem surgir trabalhos relevantes.

Recomenda-se, ainda, que possa se aprofundar em estudos futuros o tema referente à valoração das parcelas espaciais, cujo escopo praticamente ainda não foi explorado na literatura internacional e que poderiam ser de grande contribuição.

Por fim, recomenda-se também a realização de pesquisas relacionadas à interface entre a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais e o Cadastro 3D, considerando suas especificidades e necessidades, como forma de colaborar para a padronização e avanço de ambos.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, C.; JULIÃO, J. P. Infra-estruturas de Dados Espaciais nos Municípios: Contributo para a definição de um modelo de implementação. **Forum Geografico**, Lisboa, 3, n. 3, Outubro de 2010. 92-101.
- AFONSO, L. C. F. Certificados de potencial adicional de construção: a experiência de São Paulo. In: CUNHA, E. M. P.; DE CESARE, C. M. **Financiamento das Cidades: Instrumentos Fiscais e de Política Urbana - Seminários Nacionais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. p. 263-282.
- AIEN, A. et al. 3D Cadastre in Victoria Australia: Converting Building Plans of Subdivision. **GIM International**, Lemmer, 25, n. 8, Agosto de 2011. 1-4.
- AIEN, A. et al. **Advanced Principles of 3D Cadastral Data Modelling**. 2nd International Workshop on 3D Cadastres. Delft: FIG. 2011. p. 377-396.
- AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. **LAS Specification - Version 1.4 - R3 - Technical Report**. Maryland: ASPRS, 2013.
- ARRUDA, A. K. T.; SÁ, L. A. C. M. Análises Espaciais do Ambiente Construído em um Sistema de Geoinformações. In: ERBA, D. **Sistemas de Información Geografica Aplicados a Estudios Urbanos: Experiencias Latinoamericanas**. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policies, 2006. p. 80-90.
- ASSUNÇÃO, M. G. T. et al. **Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de Modelo Digital do Terreno**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE. 2007. p. 3681-3688.
- AYDIN, C. C.; DEMIR, O.; ATASOY, M. **Third Dimension (3D) in Cadastre and Its Integration with 3D GIS in Turkey**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-15.

- BENHAMU, M. A **GIS-Related Multi Layers 3D Cadastre in Israel**. XXIII FIG Congress. Munique: FIG. 2006. p. 1-12.
- BILJECKI, F. **The concept of level of detail in 3D city models**. Delft: Delft University of Technology, v. Tese de Doutorado, 2013.
- BRANDALIZE, A. A. Perfilamento a Laser : Comparação com Métodos Fotogramétricos. **LiDAR - Perfilamento a Laser**, 2001.  
Disponível em:  
<<http://www.lidar.com.br/arquivos/brandalizeperf.pdf>>. Acesso em: 7 de novembro de 2010.
- BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPS, J. W. Padrões de Classificação de Equipamentos Laser Utilizados em Levantamentos Terrestres e Aéreos. **Geodésia Online**, Florianópolis, 1, n. 1, 2002. 1-9.
- BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. Portaria Ministerial N°511/2009: Diretrizes para o Cadastro Territorial Multifinalitário, 2009. Disponível em:  
<[http://www.cidades.gov.br/capacitacao-1/arquivos-e-imagens-oculto/Portaria511\\_CTM.pdf](http://www.cidades.gov.br/capacitacao-1/arquivos-e-imagens-oculto/Portaria511_CTM.pdf)>. Acesso em: 7 de novembro de 2010.
- BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Agência Nacional de Aviação Civil. **Código Brasileiro de Aeronáutica**, 1986.  
Disponível em:  
<<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/leis/cba.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2015.
- BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei Federal N°10.257/2001 - O Estatuto da Cidade, Brasília, 2001. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/LEIS\\_2001/L10267.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/LEIS_2001/L10267.htm)>. Acesso em: 7 de novembro de 2010.
- BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei 10406 - Código Civil**, 2002. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/CCivil\\_03/leis/2002/L10406.htm](http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/2002/L10406.htm)>. Acesso em: 10 fevereiro 2015.



- ÇAGDAS, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, Maryland Heights, 2010. 1-15.
- CARNEIRO, A. F. T. Cadastro 3D. **Mundo Geo - Multifinalitário**, 8 de abril de 2009. Disponível em: <<http://mundogeo.com/multifinalitario/2009/04/08/cadastro-3d/>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2013.
- CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. **Preliminary Analysis of the Possibilities for the Implementation of 3D Cadastre in Brazil**. 2nd International Workshop on 3D Cadastres. Delft: FIG. 2011. p. 461-478.
- 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**, Curitiba, 64, n. 2, 2012. 257-271.
- CENTENO, J.; BÄHR, H.-P. **Opções para coleta e visualização de dados para o Cadastro Técnico Multifinalitário**. COBRAC 2008: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC. 2008. p. 1-11.
- CENTENO, J.; MITISHITA, E. A. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE. 2007. p. 3645-3652.
- CENTENO, J.; STEINLE, E.; VÖGTLE, T. **Análise de Modelos Numéricos de Elevação Derivados de Laser Scanner para o Monitoramento Urbano**. COBRAC 2000. Florianópolis: UFSC. 2000.
- CENTENO, J.; STEINLE, E.; VÖGTLE, T. **Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano**. COBRAC 2000 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC. 2000. p. 1-10.
- COELHO, A. H.; VARGAS, R. M. A. **Geracã o de modelos digitais de terreno a partir de dados de laser scanner**

**aerotransportado em área de floresta usando o software livre GRASS.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE. 2007. p. 3653-3660.

CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. **Manual de Apoio – CTM:** Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

DAL POZ, A. P.; CORREIA, L. D. S.; FAZAN, A. J. **EXTRAÇÃO DE CONTORNOS DE TELHADOS USANDO DADOS FOTOGRAMÉTRICOS E DE VARREDURA A LASER.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: UFPE. 2010. p. 1-6.

DALE, P.; MCLAUGHLIN, J. **Land Administration.** Nova Iorque: Oxford University Press, 1999.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. **Sistema laser scanner:** conceitos e princípios de funcionamento. 3a. ed. Curitiba: UFPR, 2004.

DIMOPOULOU, E.; GAVANAS, I.; ZENTELIS, P. **3D Registrations in the Hellenic Cadastre.** XXIII FIG Congress. Munique: FIG. 2006. p. 1-15.

EL-MAKAWY, M.; PAASCH, J.; PAULSSON, J. **Integration of 3D Cadastre, 3D Property Formation and BIM in Sweden.** 4th International Workshop on 3D Cadastres. Dubai: FIG. 2014. p. 17-34.

ERBA, D. A. **Catastro Multifinalitario aplicado a la definición de políticas de suelo urbano.** Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.

ERBA, D. A.; PIUMETTO, M. A. **3D Cadastre in the Federal Countries of Latin America.** FIG Working Week 2012. Roma: FIG. 2012. p. 1-14.

ERIKSSON, G. **A New Multi-Dimensional Information System Introduced in Sweden.** FIG Working Week 2005 and GSDI-8. Cairo: FIG. 2005. p. 1-13.

ESRI. **Lidar Analysis in ArcGIS® 10 for Forestry Applications**. Redlands: ESRI, 2011. 53 p.

FAZAN, A. J.; DAL POZ, A. P.; OIVEIRA, F. F. **SEPARAÇÃO DE TELHADOS DE EDIFÍCIOS A PARTIR DE TIN/LASER E ANÁLISE DE COMPONENTES CONEXOS**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: UFPE. 2010. p. 1-7.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DOS GEÔMETRAS. FIG Commission 7 Statement on the Cadastre. **Site da FIG - Comissão 7**, 1995. Disponível em: <[https://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement\\_on\\_cadastre.html](https://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html)>. Acesso em: 12 Fevereiro 2013.

FONSECA, A. INSPIRE: Infrastructure for Spatial Information in Europe. **Forum Geografico**, Lisboa, 1, n. 1, Outubro de 2006. 70-73.

FORRAI, J.; KIRSCHNER, G. **An Interdisciplinary 3D Cadastre Development Project in Practice**. FIG Working Week 2003. Paris: FIG. 2003. p. 1-30.

FREIRE, W. Regime jurídico dos recursos minerais no direito brasileiro: regime constitucional brasileiro e aproveitamento das riquezas minerais. **Revista Jurídica**, Brasília, v. 9, n. 84, p. 1-17, abr/mai 2007.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. **Elementary Surveying: an introduction to Geomatics**. 20. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. 967 p.

GJORGJIEV, V.; GJORGJIEV, G. **Registration of 3D Situations in R. Macedonia, Problems and Needs**. FIG Working Week 2009. Eilat: FIG. 2009. p. 1-15.

GRAHAM, L. The LAS 1.1 Standard, 2005. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=the%20las%201.1%20standard%20lewis%20graham&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.asprs.org%2Fpublications%2Fpers%2F2005journal%2Fjuly%2Ffeature.pdf&ei=t3bzUO7dGIPm8QT4-oDgCA&usg=AFQjCNE24Lqjx->>

bJzXtsO5HvtqVZf9WmCA&bvm=bv.1357700187,d.eWU>.  
Acesso em: 7 de novembro de 2010.

GRIFFITH-CHARLES, C.; SUTHERLAND, M. Analysing the costs and benefits of 3D cadastres with reference to Trinidad and Tobago. **Computers, Environment and Urban Systems**, West Indies, v. 40, p. 24-33, 2013.

GRUBER, U.; RIECKEN, J.; SEIFERT, M. **Germany on the Way to 3D-Cadastre**. FIG Congress 2014. Kuala Lumpur: FIG. 2014. p. 1-11.

GUNDELSWEILER, G.; BARTOSCHEK, T.; SÁ, L. A. C. M. Development in the German Cadastre. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 423-432, 2007.

GUO, R. et al. Developing a 3D cadastre for the administration of urban land use: A case study of Shenzhen, China. **Computers, Environment and Urban Systems**, Shenzhen, v. 40, p. 46-55, 2013.

HASSAN, M. I. et al. **An Integrated 3d Cadastre – Malaysia as an Example**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing: [s.n.]. 2008.

HEITMANN, S. **Towards a 3D Cadastre**: The approach in North Rhine-Westphalia. Council of European Geodetic Surveyors - General Assembly. Hanover: CLGE. 2012. p. 1-34.

IBGE. **Joinville**, 2014. Disponível em:  
<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=420910>>. Acesso em: 3 Janeiro 2014.

INSPIRE. Thematic Working Group Cadastral Parcels. **D2.8.I.6 Data Specification on Cadastral Parcels – Technical Guidelines - v3.1**, 2014. Disponível em:  
<[http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data\\_Specifications/INSPIRE\\_DataSpecification\\_CP\\_v3.1.pdf](http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_CP_v3.1.pdf)>. Acesso em: 02 Março 2015.

- JARROUSH, J.; EVEN-TZUR, G. **Constructive Solid Geometry as the Basis of 3D Future Cadastre**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-14.
- KARKI, S.; MCDUGALL, K.; THOMPSON, R. **An Overview of 3d Cadastre from a Physical Land Parcel and a Legal Property Object Perspective**. FIG Congress. Sydney: FIG. 2010.
- KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. **Cadastre 2014: A vision for a future cadastral system**. 1a. ed. Rüdlingen: FIG - Federação Internacional de Geômetras, v. 1, 1998.
- KERSTING, J. et al. **FILTRAGEM DE MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE DERIVADOS DA VARREDURA A LASER USANDO A TRIANGULAÇÃO DE DELAUNAY**. In: KRUEGER, C. P.; CENTENO, J. **Série em Ciência Geodésicas**. Curitiba: UFPR, v. 4, 2005. p. 145-160.
- KUWANO, Y. **GNSS/IMU data workflow and LAS file creation**. Leica Geosystems. Kupur, p. 51. 2008.
- LOHR, U. **High Resolution Laserscanning, not only for 3D-City Models**. Photogrammetric Week '99. Heidelberg: [s.n.]. 1999. p. 133-138.
- MIQUELES, M. A. et al. **Classificação de Imagens Obtidas do Laser Scanner Baseada em Atributos Espectrais e Espaciais**. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte: INPE. 2003. p. 1-7.
- MIQUELES, M.; CENTENO, J. **EXTRAÇÃO DE EDIFICAÇÕES EM AMBIENTES URBANOS UTILIZANDO IMAGEM DE ALTA RESOLUÇÃO E DADOS DO LASER SCANNER**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiania: INPE. 2005. p. 4155-4162.
- MORO, R. C.; CENTENO, J. **FILTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS PARA A GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: UFPE. 2010. p. 1-5.

- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - COASTAL SERVICE CENTER. **Lidar 101: An introduction to Lidar technology, data, and applications.** Washigton: NOAA, 2012.
- NAVRATIL, G.; UNGER, E.-M. Requirements of 3D cadastres for height systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, Viena, v. 40, p. 14-23, 2013.
- OLIVEIRA, I. C. E. D. **Estatuto da Cidade, para compreender.** Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 2001.
- OOSTEROM, P. V. **Principles of 5D modeling.** Seminar: 5D Modeling. Amsterdam: Delft Universtiy of Technology. 2012. p. 1-30.
- OOSTEROM, P. V. et al. **Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration.** XXIII FIG Congress. Munique: FIG. 2006.
- OOSTEROM, P. V.; STOTER, J. 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space, Time and Scale Dimensions. **GIScience 2010**, Berlim, 2010. 310-324.
- OOSTEROM, P. V.; STOTER, J.; CHRISTIAAN, L. Modelling of 3D Cadastral Systems, 2004. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.100.5243>>. Acesso em: 7 de novembro de 2010.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Agenda 21 - CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Ministério do Meio Ambiente**, 2010. Disponível em: <[www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/\\_arquivos/](http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/)>. Acesso em: 11 de novembro de 2010.
- OSSKÓ, A. **Development of 3D Cadastre Land Registry.** FIG Commicion 7 Annual meeting, Open Symposium Environment and Land Administration. Verona: FIG. 2008.
- PAPAEFTHYMIU, M.; LABROPOULOS, T.; ZENTELIS, P. **3-D Cadastre in Greece – Legal, Physical and Practical Issues Application on Santorini Island.** FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-16.

- PEIXOTO, E. B. D. A.; CENTENO, J. A. **ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS POR PERFILAMENTO A LASER E TOPOGRAFIA CONVENCIONAL**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: UFPE. 2010. p. 1-3.
- PERES, N.; BENHAMU, M. **3D Cadastre GIS – Geometry, Topology and Other Technical Considerations**. FIG Working Week 2009. Eilat: FIG. 2009. p. 1-14.
- PIMENTEL, J. S.; PEREIRA, C. M.; CARNEIRO, A. F. T. **ANÁLISE DE IDENTIFICADORES DE PARCELAS DO CADASTRO TERRITORIAL**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: UFPE. 2010. p. 1-5.
- PLOEGER, H. D.; STOTER, J. E. **Cadastral Registration of Cross-Boundary Infrastructure Objects**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-18.
- POULIOT, J. et al. **3D Cadastre in the province of Quebec: A First experiment for the construction of a volumetric representation**. 5th International 3D GeoInfo Conference. Berlin: FIG. 2010. p. 1-15.
- POULIOT, J.; VASSEUR, M.; BOUBEHREZH, A. How the ISO 19152 Land Administration Domain Model performs in the comparison of cadastral systems: A case study of condominium/ co-ownership in Quebec (Canada) and Alsace Moselle (France). **Computers, Environment and Urban Systems**, Quebec, v. 40, p. 68-78, 2013.
- PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO PAULO. **Prospecto de Registro da Operação Urbana Consorciada Água Espreada**. São Paulo: PCSP, 2008.
- PREFEITURA DO RECIFE. Lei Municipal N.16873/2003. **Leis Municipais**, 13 de junho de 2003. Disponível em: <[www.recife.pe.gov.br/pr/lei16873.html](http://www.recife.pe.gov.br/pr/lei16873.html)>. Acesso em: 7 de novembro de 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS.

Geoprocessamento Corporativo. **Geoprocessamento Corporativo**, 2015. Disponível em: <<http://geo.pmf.sc.gov.br/>>. Acesso em: 12 Março 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Lei Complementar**

**312**: Lei de Uso de Ocupação do Solo - Anexos. Joinville: Câmara Municipal, 2010.

RIVAS, R. A. N.; BRITO, J. L. N. E. S. **A TECNOLOGIA “LASER SCANNING”**: UMA ALTERNATIVA PARA O MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte: SBC. 2003. p. 1-8.

SANDBERG, H. Three-Dimensional Partition and Registration of Subsurface Space. **Israel Law Review**, Jerusalém, v. 37, n. 1, p. 119-167, 2003.

SANDRONI, P. **O Cepac como instrumento de captação de mais-valias urbanas e financiamento de grandes projetos urbanos**. Operações Urbanas, Anais Seminário Brasil França. Brasília: FUNAG/IHEDN. 2009.

SANTANA, S. A. **Geoprocessamento na modelagem parametrizada da paisagem territorial**: aplicações da geovisualização na simulação da paisagem urbana. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, v. Tese de doutorado, 2014.

SCHMIDT, M. A. R. et al. **Ferramenta de simulação de dados laser scanning para o sistema toposys**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE. 2007. p. 3677-3679.

SHAN, J.; TOOTH, C. K. **Topographic laser ranging and scanning**: principles and processing. Boca Raton: CRC Press, 2009. 593 p.

SHOSHANI, U. et al. **Registration of Cadastral spatial Rights in Israel – A Research and Development Project**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-18.

SORENSEN, E. M. **3 Dimensional Property Rights in Denmark 3D Property Design and Registration is Working – Visualization**



- not. 2nd International Workshop on 3D Cadastres. Delft: FIG. 2011. p. 521-530.
- SOUZA, G. H. B. **Sistemas Cadastrais 3D: Viabilidades para o Sistema Cadastral Brasileiro**. Tese de doutorado. ed. Presidente Prudente: UNESP, 2011.
- SOUZA, G. H. B.; AMORIM, A. **LiDAR data integration for 3D Cadastre: some experiences from Brazil**. FIG Working Week 2012. Roma: FIG. 2012. p. 1-15.
- SOUZA, H. L. S. et al. **Uso do Cadastro 3D e 4D para atualização da base cartográfica do município de Maceió/AL**. VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba: UFPR. 2013.
- SOUZA, W. O.; PIMENTEL, J. S.; CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro 3D e 4D: a realidade territorial no espaço e no tempo**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba: INPE. 2011. p. 2522-2529.
- STOTER, J. **3D Cadastre**. Technische Universiteit Delft. Delft, p. 344. 2004. 2004.
- STOTER, J. E. et al. **Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-27.
- STOTER, J.; MUNK SØRENSEN, E.; BODUM, L. **3D Registration of Real Property in Denmark**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-23.
- STOTER, J.; ZEVENBERGEN, J. **Changes in the definition of property: a consideration for a 3D cadastral registration system**. FIG Working Week 2001. Seoul: FIG. 2001.
- TAN, L. C.; HUSSIN, K. B. A Survey Related To 3D Property. **International Journal of Humanities and Social Science**, Los Angeles, 2, n. 4, Fevereiro de 2012. 69-75.
- TAN, L. C.; HUSSIN, K. B.; OON, E. K. H. Malaysian 3D Property Legislation: A Preliminary Approach. **International Surveying Research Journal**, Johor, 1, n. 1, 2011. 25-43.

- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Mapa da UFSC. **Estrutura UFSC**, 2014. Disponível em: <[http://identidade.ufsc.br/files/2014/02/mapa\\_UFSC\\_2014.pdf](http://identidade.ufsc.br/files/2014/02/mapa_UFSC_2014.pdf)>. Acesso em: 12 Março 2015.
- VALSTAD, T. **The Oslo Method - A practical approach to Register 3D Properties**. FIG Working Week 2003. Paris: FIG. 2003. p. 1-10.
- VALSTAD, T. **3D Cadastres in Europe**. Cadastral Infrastructure. Bogotá: FIG. 2005. p. 1-10.
- VALSTAD, T. **Developments of the 3D Cadastre in Norway**. XXIII FIG Congress. Munique: FIG. 2006. p. 1-12.
- VALSTAD, T. **At Last! After 10 Years in Waiting Norway Has a New Cadastral Law that also Includes 3D Objects**. FIG Congress 2010. Sydney: FIG. 2010. p. 1-11.
- WUTKE, J. D. **Métodos para a Avaliação de um Sistema Laser Scanner Terrestre**. Dissertação na Pós- Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Curitiba. 2006.

