

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/2 333-344
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

PARCELAS ESPACIAIS E NUVEM DE PONTOS: VIABILIDADE E POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO DE DADOS PARA O CADASTRO 3D

*Spatial Parcels and Cloud Points: Feasibility and Possibilities for 3D Cadastre
Data Integration*

**Guilherme Henrique Barros de Souza¹
Amilton Amorim²**

**¹Universidade Estadual Paulista - UNESP
Campus Experimental de Rosana**

Avenida dos Barrageiros, 1881. CEP 19274-000 – Distrito de Primavera – Rosana - SP
guilhermebarros@rosana.unesp.br

**²Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – Departamento de Cartografia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
Rua Roberto Simonsen, 305. CEP 19060-900 - Presidente Prudente - SP.
amorim@fct.unesp.br**

*Recebido em 30 de Novembro, 2014/ Aceito em 2 de Dezembro, 2014
Received on November 30, 2014/ Accepted on December 2, 2014*

RESUMO

Os processos de aquisição, armazenamento, processamento e representação dos dados espaciais passaram por grandes mudanças nas últimas décadas, ocasionando novas possibilidades no uso da informação espacial, principalmente com a geração de modelos de objetos tridimensionais. A partir desses modelos é possível entender a dinâmica de alguns fenômenos, possibilitando a definição de estratégias de ação para possíveis intervenções. Nesse sentido, as informações do Cadastro também foram influenciadas por esse processo, o que tem motivado vários pesquisadores a verificar as demandas e impactos sobre o sistema cadastral do chamado Cadastro 3D. Há projetos iniciados na Holanda, Suécia, Noruega, Israel, China e Grécia, cada qual estudando propostas e modelos para adequar as estruturas dos seus sistemas cadastrais para incorporação do dado tridimensional. O objetivo deste trabalho é contribuir com procedimentos adequados para a incorporação da informação 3D ao Cadastro Urbano, verificando a estrutura cadastral existente, sobretudo em locais onde não existe um modelo cadastral definido. É proposto um modelo de uso para a parcela espacial utilizando um cilindro e uma nuvem de pontos com atributos. Os experimentos realizados com o uso de dados obtidos a partir de sensores de varredura à LASER em plataforma aérea e terrestre, para auxiliar na incorporação da informação tridimensional ao Cadastro, mostraram-se satisfatórios não apenas para uso da nuvem de pontos de atributos para o Cadastro, como também na integração das nuvens de pontos provenientes do LASER aéreo e terrestre. Para viabilizar os estudos, foram escolhidas áreas teste em Curitiba. No desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas bibliotecas de C++, implementadas por grupos de pesquisa na área de Fotogrametria e manipulação de dados LASER. Os resultados para a rotulação dos pontos com atributos, usando modelos matemáticos do cilindro, se mostram promissores para a discussão de modelo de parcela espacial para o Cadastro, sendo possível incorporar o dado tridimensional ao Cadastro

mesmo que não exista um modelo de Cadastro definido.

Palavras chaves: Cadastro, Modelo Cadastral, Cadastro 3D, LiDAR, Rich Point Cloud.

ABSTRACT

The processes of acquisition, storage, processing and representation of spatial data had a lot of changes in recent decades, which led to new possibilities in the use of spatial information, especially with 3D models generation of objects. From these models is possible to understand the dynamics of some phenomena and to define action strategies for interventions. In this way, the cadastral information also was influenced by this process, which has led many researchers to verify the demands and impacts on the cadastral system of so-called 3D Cadastre. There are projects started in Netherlands, Sweden, Norway, Israel, China and Greece, each studying proposals and models for match the structures of their cadastral systems to incorporate the 3D data. This work aims to contribute to proper procedures for the incorporation of 3D information to the Urban Cadastre from the existing structure, especially in where there isn't a cadastral model. It is proposed to use a model for the spatial parcel using a square cylinder of revolution and a cloud points with attributes. The experiments with data obtained from LASER scanning sensors (aerial and ground platforms) to assist in the incorporation of 3D information to Cadastre were satisfactory, not only for the use of cloud points attributes for Cadastre, but by the integration of the LASER point cloud air and ground. To make the studies, test areas were selected in Curitiba. In developing the work, it was used C++ libraries were implemented by research groups in the area of Photogrammetry and lidar data manipulation. The results for the labeling of points with attributes using mathematical models of the cylinder show promise for the discussion of spatial Parcel model for Cadastre, and allow incorporate 3D data to Cadastre even without Cadastral Model.

Keywords: Registration, Cadastral Model, 3D Cadastre, Lidar Data, Rich Point Cloud.

1. INTRODUÇÃO

O estudo do contexto urbano juntamente com seus atributos tem sido a principal função do Cadastro Técnico Urbano, principalmente em sua característica multifinalitária. Mesmo que muitos dos problemas de Cadastro não tenham sido resolvidos pelas pesquisas desenvolvidas até o momento, a representação tridimensional das parcelas e seus atributos passam a ser considerados dada a dinâmica do espaço urbano, o que leva a repensar o modelo cadastral adotado em muitos países.

Embora na época em que foi lançado, pela Federação Internacional de Geômetras (FIG), o Cadastro 2014 não abordasse a questão da tridimensionalidade, algumas iniciativas nesse aspecto foram explicitadas, principalmente no momento em que se aborda a exatidão na definição dos limites da unidade territorial (KAUFMANN; STEUDLER, 1998). Mesmo não citando explicitamente a questão da tridimensionalidade dos limites da parcela, o Cadastro 2014 antevê uma ampla reforma cadastral não apenas no aspecto de aquisição e armazenamento de dados, mas também com uma ampla reforma na legislação vigente sobre o Cadastro e o Registro de Imóveis, acompanhando a evolução tecnológica. Nesse sentido, a

construção da LADM (Land Administration Domain Model) sinaliza a concretização do Cadastro 2014, ainda que com limitações e desdobramentos na questão jurídica do entendimento das parcelas. (PAASCH et al, 2013).

Na busca para definir uma melhor unidade territorial para o Cadastro e Registro de Imóveis, alguns países passaram a incorporar a altitude ortométrica como um atributo de parcela, gerando um novo conceito de unidade territorial, a parcela espacial (SHOSHANI et al, 2005).

Vários grupos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico têm voltado suas atenções para a questão da tridimensionalidade do Cadastro. Há projetos em desenvolvimento em países como Holanda, Suécia, Noruega, Israel, China, Austrália, Grécia, entre outros, cada qual estudando propostas e modelos para adequar as estruturas dos seus sistemas cadastrais para a incorporação da questão espacial. Oosterom et al. (2006) apresenta uma introdução sobre o aspecto temporal no Cadastro, incluindo uma quarta dimensão ao Cadastro.

A partir desse contexto, este trabalho visa contribuir com as discussões acerca da tridimensionalidade da parcela do Cadastro, discutindo meios de aquisição, modelagem e representação da parcela cadastral, exclusivamente

no ambiente urbano, considerando paradigmas do Cadastro, principalmente a presença ou não de modelo de Cadastro definido.

2. O CADASTRO E A INFORMAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Antes de tratar diretamente da informação tridimensional no Cadastro, vale ressaltar um aspecto importante quanto à terminologia usada para o Cadastro na questão tridimensional. Embora a literatura e até mesmo os autores deste trabalho tenham utilizado a expressão Cadastro 3D, algumas vezes ela não é utilizada de maneira correta. Isso porque o Cadastro é um conceito abstrato, portanto adimensional. É diferente da parcela cadastral, que é considerada um objeto e tem dimensões. Portanto, não é o Cadastro que é 3D, mas sim a parcela cadastral.

É interessante evidenciar essa diferença porque algumas terminologias usadas tornam-se inadequadas, como por exemplo, o chamado Cadastro 4D. Não existe uma quarta dimensão no Cadastro, mas sim uma análise sobre o comportamento da parcela cadastral ao longo do tempo. Além disso, 3D não necessariamente quer dizer que está sendo considerada a coordenada (X, Y, Z) ou (E, N, h), pois cada dimensão pode receber o atributo de interesse. Se a terminologia for adotada como 3D, 4D etc., deve-se considerar o Cadastro nD, pois cada tema que for aplicado ao Cadastro como saúde, educação entre outros, poderá ser considerada uma dimensão. Neste trabalho, o objeto de estudo é a parcela cadastral, que ao longo do texto será denominada parcela espacial com três dimensões referentes ao sistema de coordenadas (X, Y, Z). Assim, neste trabalho o Cadastro 3D considera a parcela tridimensional.

No contexto apresentado, um modelo de parcela espacial que atenda à incorporação da informação tridimensional deve considerar alguns aspectos importantes. O principal é que, nem todos os países possuem um modelo de Cadastro bem estabelecido. No caso do Brasil, por exemplo, há diversos padrões de parcela, também chamada de lote. A ausência de um padrão para a parcela faz com que o gerenciamento do Cadastro seja problemático em uma cidade, sem possibilitar o uso de soluções para vários lugares.

As diretrizes de Cadastro Territorial Multifinalitário, lançadas pelo Ministério da Cidades em 2009 (BRASIL, 2009), tratam a parcela como unidade fundamental do Cadastro e no artigo 2º define que a parcela é uma porção contígua da superfície terrestre. Tendo exclusivamente como ponto de partida tal definição, pode-se afirmar que o chamado Cadastro 3D não teria base jurídica, uma vez que a definição de superfície envolve apenas 2 dimensões. Porém, sabe-se que o espaço urbano compreende uma série de dinâmicas que estão implícitas em outras leis conforme afirmam Carneiro et al (2012) e Erba et al (2012). Dessa maneira o modelo proposto por esse trabalho não difere do que está estabelecido pelo Ministério das Cidades, uma vez que a Portaria 511 não estabelece indicativos de como tratar a informação tridimensional. É necessário pensar estratégias de coleta e utilização da informação tridimensional de maneira que ela possa auxiliar na melhor utilização do espaço em consonância com a legislação vigente.

Trabalhar com uma estratégia de aquisição de dados e parcelas espaciais para locais sem modelo cadastral definido torna-se vantajoso, uma vez que não se prende a um padrão pré-estabelecido e também não será um problema a inclusão desses mesmos dados em um modelo posterior a ser adotado. Grande parte dos países não possuem um modelo de Cadastro estabelecido e, portanto, usar uma estratégia que não se prenda a um modelo é interessante para manter os dados atualizados sem que haja prejuízo em relação à observância de modelos.

Os modelos de parcelas espaciais propostos por Stoter e Oosterom (2006) compreendiam quatro estruturas básicas: tetraedro (Fig. 1), poliedros (Fig. 2), poliedro com partes cilíndricas e esféricas (Fig. 3) e modelos oriundos de CAD a partir de CSG (*Constructive Solid Geometry*), decomposição em células e objetos curvos (Fig. 4).

Ekberg (2007) propõe o uso de feições



Fig. 1 - Modelo de um tetraedro.

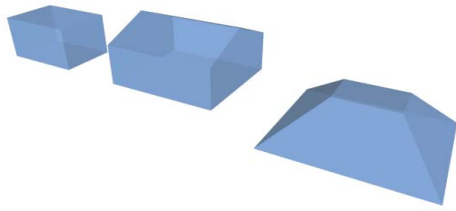


Fig. 2 - Conjunto de poliedros.



Fig. 3 - Poliedro com cilindro e com esfera.

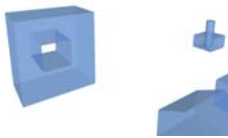


Fig. 4 - Modelo baseado em CSG formado pela subtração de dois poliedros.

triangulares para recompor os objetos em 3D como os poliedros por exemplo. Ele decompõe as feições espaciais em triângulos para melhorar as consultas topológicas. A Fig. 5 ilustra esse conceito.

Todas essas alternativas de modelo de parcelas espaciais levaram em conta a viabilidade técnica de implementação em banco de dados, CAD e SIG. Desse modo, ainda que não idealmente, esses modelos têm norteado o uso da informação tridimensional, tanto para o SIG quanto para o Cadastro. O poliedro é o modelo que mais se destaca devido à sua facilidade de implementação, porém as relações de topologia com objetos que estejam contidos dentro dele não são tão triviais (ARENS et al., 2005).

Um dos fatos que geram dificuldades para se estabelecer primitivas geométricas para o Cadastro é a irregularidade dos limites das parcelas na superfície terrestre. Em muitas regiões não existe um padrão estabelecido, podendo gerar inconsistências nas informações. Desse modo, sempre haverá sobreposição de parcelas espaciais ou espaços em uma quadra que, legalmente, não pertencem a nenhum imóvel.

A indefinição dos limites da parcela

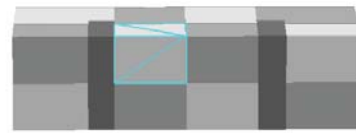


Fig. 5 - Representação de parcelas espaciais com feições triangulares.

prejudica o uso de volumes para o modelo cadastral, pois esses precisam de, ao menos, dois ternos de coordenadas e uma altura para estabelecer quais são os limites acima e abaixo da superfície em questão. A Fig. 6 mostra um esquema da construção de um poliedro a partir desses parâmetros para representar uma superfície espacial.

Ressalta-se, nesse caso, que o poliedro considerado é regular, o que nem sempre ocorrerá na realidade. Desse modo, a definição da parcela espacial é dependente de sete parâmetros, considerando o nível do terreno como plano de partida. Considera-se as edificações existentes dentro da parcela espacial como subparcelas. Essas parcelas também dependeriam de outros parâmetros para serem reconstruídas.

No caso das subparcelas espaciais, é possível reconstruir os poliedros a partir de arquivos de Cadastro que possuam a planta baixa do imóvel e informações de banco de dados sobre o número de pavimentos (FILLIN et al. (2008)). Ainda assim, essa modelagem não será fidedigna à realidade, pois as formas utilizadas podem não corresponder à geometria das edificações.

Encontrar um modelo adequado para representar e utilizar as parcelas espaciais é importante para o Cadastro. Porém, não se deve confundir com a modelagem de cidades virtuais, cuja finalidade é diferente. Embora

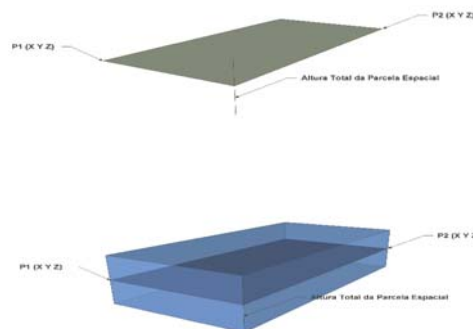


Fig. 6 - Critérios para a formação da parcela espacial.

ambos aproveitem conceitos um do outro, eles se diferem no uso e nos objetivos das representações.

Os paradigmas de modelagem virtual de cidades baseiam-se em dois principais aspectos: modelagem geométrica tridimensional e modelagem baseada em imagens. (NEBIKER et al., 2010). Ambos possuem características que ajudam a entender o uso da tridimensionalidade para o Cadastro e auxiliam na incorporação da mesma aos sistemas cadastrais.

A modelagem geométrica possui a vantagem de ser baseada em conceitos de CAD e SIG, utilizando os mesmos padrões, formatos e ferramentas. Isso permite uma grande interoperabilidade entre diversos sistemas para edição e visualização de modelos. Outra grande vantagem é a flexibilidade da modelagem que permite que qualquer objeto seja modelado com uso de princípios de B-rep (*Boundary Representation* – Representação de Fronteira) e CSG. A desvantagem nesse caso não é o método em si, mas a complexidade dos ambientes urbanos. A decomposição de algumas estruturas complexas em primitivas geométricas demanda um grande tempo de edição, o que ocasiona algumas inconsistências entre o que o usuário espera do modelo e o que o produtor realizou (NEBIKER et al., 2010).

Por outro lado, a modelagem baseada em imagens possui a vantagem de permitir uma construção realística da paisagem, mas limitada ao ponto de vista de aquisição da cena. É necessário também efetuar a compatibilização dos valores de brilho dos pixels. O *Google Street View* é um exemplo dessa abordagem. Em geral, usa-se uma combinação das duas abordagens nos sistemas de cidades virtuais mais consolidados, aplicando os valores de brilho obtidos nas imagens como elementos de texturas nos objetos geométricos modelados.

Ambas as abordagens ilustram o problema da obtenção de modelos 3D dos objetos do cenário urbano. Para o Cadastro, é necessário estabelecer a parcela espacial como um objeto, embora ela não seja materializada de fato. Além disso, as informações para o Cadastro devem ser atuais, o que exige maior rapidez na aquisição dos dados e conseqüentemente uma construção rápida dos modelos. Nesse aspecto, as duas abordagens não são tão rápidas, dado o

tempo de edição necessário para a construção do modelo. Para o Cadastro não é necessária uma modelagem tão realística, somente para temas específicos como para Cadastro de Patrimônio Histórico.

Diante desse contexto, neste trabalho utilizaram-se conceitos de um novo paradigma da modelagem de cidades, chamado *Rich Point Clouds (RPC)* (NEBIKER et al., 2010). A tradução do termo em português não daria o sentido que ela tem para a língua inglesa, que é o de uma nuvem de pontos densa e com diversos atributos, como intensidade, valor RGB, classificação e outros de interesse. Em linhas gerais, os pontos oriundos de levantamento LASER possuem informações de posição, pulso de retorno, tempo, dentre outros.

Com esses novos conceitos, pode-se atribuir para cada ponto da nuvem informações diversas, como por exemplo, o tipo de edificação do qual ele faz parte ou até mesmo a inscrição cadastral do imóvel. Além disso, Ravada et al. (2009) afirmam que a estrutura da nuvem de pontos pode ser suportada em banco de dados, dando como exemplo o *Oracle Spatial IIg*.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atender aos objetivos deste trabalho, propõe-se, para incorporação da informação tridimensional ao Cadastro, um modelo híbrido de parcela espacial, utilizando conceitos e paradigmas de Modelagem de Cidades e primitivas geométricas que podem ser representados no banco de dados. Assim, cada parcela espacial será representada por uma estrutura geométrica e os objetos por nuvem de pontos.

Algo importante a ser destacado é que a parcela espacial é um objeto abstrato. Ela não pode ser mensurada por completo, somente a parte que está na superfície terrestre, que em geral corresponde ao plano que secciona a parcela espacial em duas partes iguais. As subparcelas, que neste caso são as edificações ou estruturas contidas na parcela espacial, são objetos físicos.

A estrutura geométrica proposta para a parcela espacial é o cilindro ao invés do poliedro. Embora Stoter e Oosterom (2006) tenham colocado as limitações de implementação quanto ao uso de cilindros para o banco de dados,

os avanços tecnológicos permitem que essa estrutura seja utilizada. Em relação ao poliedro, o cilindro possui cinco parâmetros para a determinação da parcela (terno de coordenadas (X, Y, Z) , profundidade e testada), ao invés de sete (dois ternos de coordenadas (X, Y, Z) e altura da parcela espacial), salientando que ambos têm como plano de partida o nível do terreno, ou seja, os parâmetros em relação ao plano do lote são comuns a ambos. A Fig. 7 ilustra o uso do cilindro como parcela espacial, com o cilindro contínuo ou multifacetado em regiões planas.

Embora o cilindro tenha menos parâmetros que o poliedro, a implementação matemática da verificação de estruturas em seu interior não é tão simples. Pela proposta metodológica, o cilindro é composto por um centro, raio e a geratriz. Para o modelo proposto, o centro do cilindro é representado pelas coordenadas obtidas no ponto médio da testada da parcela, a geratriz é a profundidade da parcela e o raio é a metade do valor da testada. Definidos tais parâmetros para a construção do cilindro, a próxima etapa foi garantir matematicamente que um objeto esteja fora ou dentro da parcela espacial.

Qualquer que seja o modelo de objeto inserido dentro da parcela espacial, as consultas sobre sua topologia são feitas em relação aos vértices, sejam esses objetos poliedros, tetraedros, objetos CSG entre outros. Portanto,

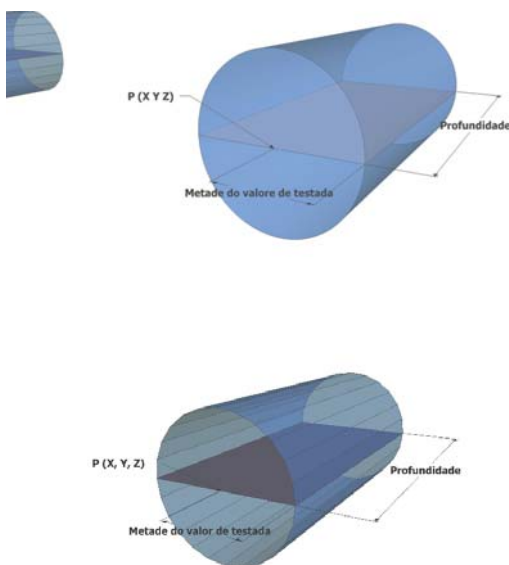


Fig. 7 - Exemplo do uso do cilindro como parcela espacial.

uma vez que as consultas se referem a pontos, utilizar o conceito RPC torna-se válido já que a verificação e rotulação dos pontos independem do número total de pontos de entrada.

Para que o modelo matemático usado no processo de rotulação dos pontos atendesse aos objetivos propostos, algumas considerações iniciais foram necessárias. A primeira abordagem usada utilizava o conceito de distâncias dentro do cilindro, mas o processo de rotulação gerou uma esfera devido às inúmeras direções que o vetor de distância poderia assumir, o que inviabilizou seu uso.

A partir de então, o procedimento utilizado foi o da definição de um sistema de coordenadas locais $X'Y'$ no plano XY com origem fixada no ponto médio da testada da parcela, que coincide com o centro do círculo do cilindro. O sistema foi definido de modo que o eixo Y' coincidisse com o alinhamento da testada do lote. A Fig. 8 ilustra a posição do novo sistema de coordenadas em relação à parcela espacial. Em linha contínua está o sistema de coordenadas original, em azul a translação dos eixos para o centro de projeção do cilindro e em vermelho o sistema resultante da rotação θ , com o eixo X' coincidindo com o eixo do cilindro. Os valores de X e Y também podem assumir os valores de E e N do sistema UTM.

Os parâmetros de translação para o novo sistema de coordenadas se dariam pela subtração do ponto origem do cilindro do ponto de interesse que estivesse sendo testado. Já o parâmetro de rotação necessita de mais um ponto, além do ponto de origem da parcela espacial. Isso se deve ao fato de que o parâmetro de rotação é obtido do

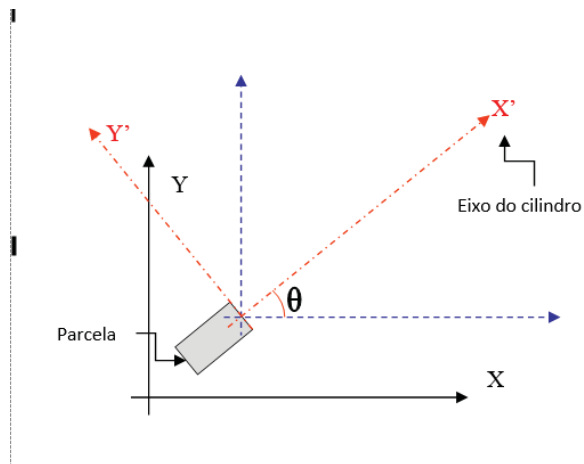


Fig. 8 - Posicionamento do sistema de coordenadas local em relação ao sistema original.

fator de inclinação da equação da reta que passa pelo ponto origem do cilindro.

Para resolver esse problema, é necessário obter o ponto central da parcela espacial mais próxima que esteja no mesmo alinhamento. Com dois pontos, determina-se então a equação da reta e encontra-se o ângulo de rotação θ do novo sistema de coordenadas em relação ao sistema de origem. É importante estudar o sinal do ângulo de rotação, pois ele é obtido através da função arco tangente e tem impacto na orientação do sistema de coordenadas.

Com os parâmetros de translação e rotação definidos, as equações para o novo sistema de coordenadas são dadas pelas equações 1 e 2.

$$X' = (X - X_c) \times \cos\theta + (Y - Y_c) \times \sin\theta \quad (1)$$

$$Y' = -(X - X_c) \times \sin\theta + (Y - Y_c) \times \cos\theta \quad (2)$$

Onde:

X' Y' são as coordenadas dos pontos no novo sistema;

X_c Y_c são as coordenadas do centro do cilindro;

X Y são as coordenadas dos pontos que estão sendo testados;

θ é o ângulo de rotação entre os sistemas de coordenadas.

As condições de consulta para saber se, planimetricamente, o ponto está dentro do cilindro são dadas pelas expressões 3, 4 e 5.

$$X' < 0 \quad (3)$$

$$|X'| < \textit{profundidade} \quad (4)$$

$$|Y'| < \textit{raio} \quad (5)$$

As informações sobre profundidade e testada são obtidas no banco de dados ou podem ser medidas em campo, lembrando que o valor do raio do cilindro é obtido através do valor da testada.

Para a verificação altimétrica do ponto que está sendo testado em relação ao cilindro, foi utilizada a equação do círculo no plano $Y'Z$. Caso o resultado da equação fosse menor ou igual ao valor do raio estabelecido, os pontos estariam inseridos na parcela espacial cilíndrica. A equação 6 mostra a condição de consulta para

os pontos.

$$(Y')^2 + (Z - Z_c)^2 \leq \textit{raio}^2 \quad (6)$$

Onde:

Z é a coordenada do ponto que está sendo testado;

Y' é a coordenada do ponto testado no sistema local;

Z_c é a coordenada do ponto central do cilindro.

Portanto, o ponto que está sendo testado deve satisfazer as condições das equações 3, 4, 5 e 6 para ser rotulado com o atributo desejado, nesse caso com a inscrição cadastral. Como já citado, seja o ponto oriundo de uma nuvem de pontos ou de poliedros, o modelo matemático é consistente e pode ser utilizado.

As edificações, nesta proposta, podem ser representadas por um cilindro vertical ou a própria nuvem de pontos da edificação. Quando for o caso, pode-se optar por um modelo híbrido entre essas duas abordagens. Embora o cilindro tenha problemas quanto aos limites assim como o poliedro, ressalta-se que nenhum modelo representa a realidade e, portanto, deve-se optar pelo que seja melhor para a aplicação de interesse.

Para o Cadastro, uma representação realística ou geometricamente fidedigna, nem sempre é a melhor solução, pois não se podem executar medidas para o Registro de imóveis em modelos virtuais.

A informação tridimensional no Cadastro contribui principalmente para a área de planejamento urbano e área jurídica. Ela pode ser utilizada também para o cadastro imobiliário, exceto nos limites da parcela espacial, pois esses não são materializados. Além disso, os dados do Cadastro poderão ser utilizados nos chamados SIGs 3D, para aplicações turísticas, geomarketing, ambientais, etc.

A escolha pela nuvem de pontos se deu para facilitar a topologia das estruturas dentro das parcelas. Com a utilização do conceito *RPC*, os pontos podem ter diversos atributos. Além disso, é mais fácil encontrar um ponto dentro de um cilindro do que outro volume. A ideia é usar o leque dos atributos para facilitar a topologia e a identificação dos imóveis. Embora a aquisição

dos pontos seja um tanto onerosa, a evolução tecnológica tende a minimizar esses custos com o passar do tempo. O modelo proposto faz uso das nuvens de pontos obtidas por LASER aéreo e terrestre, com a integração das duas.

4. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

A área teste localiza-se no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba - PR. Essa área foi escolhida pela disponibilidade da nuvem de pontos de LASER aéreo e a possibilidade de efetuar um levantamento em campo com o LASER terrestre. A Figura 9 mostra uma imagem da área teste.

Os dados de LASER aéreo da área teste foram fornecidos pelo Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos, do Departamento de Geomática da UFPR. Essa nuvem de pontos foi feita pelo Instituto LACTEC do Paraná. A Fig. 10 mostra a nuvem de pontos do LASER aéreo.

O levantamento de dados com LASER terrestre foi feito em dezembro de 2010, utilizando um equipamento cedido pelo Departamento de Geologia da UFPR. A ideia inicial era coletar uma nuvem de pontos reunindo diversas cenas que modelassem várias paredes, especialmente quinas das edificações. Porém, foram coletadas as cenas, mas não na configuração previamente



Fig. 9 - Centro Politécnico da UFPR.

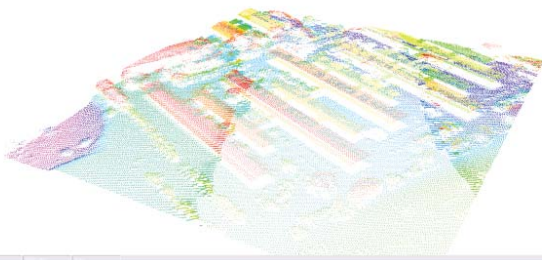


Fig. 10 - Nuvem de pontos LASER aéreo da área teste.

estabelecida devido às condições do tempo e a disponibilidade do equipamento. A Fig. 11 mostra a nuvem de pontos coletada.

O primeiro passo para integrar as duas nuvens de pontos foi traçar as estratégias para a verificação de pontos comuns entre as duas nuvens. Como já mencionado anteriormente, não é possível saber a priori se um ponto está presente ou não na nuvem de pontos do LASER aéreo e terrestre ao mesmo tempo.

Para determinar pontos que poderiam ser comuns nas duas nuvens de pontos, foi aplicado o algoritmo *convex_hull* na nuvem de pontos do LASER aéreo. O interesse nesse caso não é no contorno da edificação, mas sim nos pontos que definem os segmentos de reta que estabelecem o contorno. A partir das equações das retas desses pontos foram definidos os pontos de intersecção das mesmas.

Após a determinação dos pontos de interesse na nuvem de pontos do LASER aéreo, partiu-se para a extração de planos na nuvem de pontos do LASER terrestre. Foram coletados pontos manualmente por meio do software *Cyclone* para a definição dos planos. Como a densidade dos pontos é alta, optou-se por um limiar de 5cm para a separação dos planos, diferenciando planos de janelas, colunas, piso e paredes. A Fig. 12 ilustra o resultado desse processo, mostrando o plano das paredes

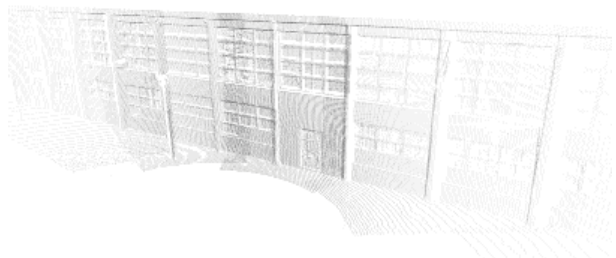


Fig. 11 - Nuvem de pontos terrestre da área teste.

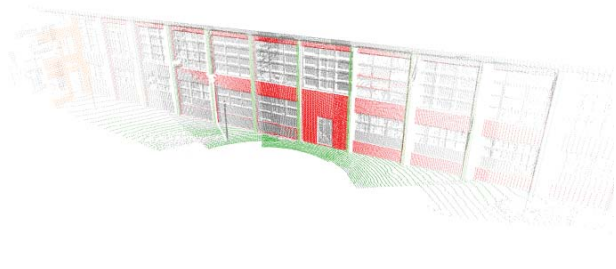


Fig. 12 - Nuvem de pontos com os planos em destaque.

(vermelho), das colunas em verde claro, do chão em verde e de uma parede lateral em laranja.

Utilizando o resultado da intersecção dos planos, foram encontrados três pontos correspondentes com o LASER aéreo. Com os pontos escolhidos, realizou-se a obtenção dos parâmetros de transformação entre as nuvens de pontos utilizando a transformação de similaridade. A Tabela 1 mostra os parâmetros de transformação e o desvio padrão.

A partir dos parâmetros encontrados, aplicou-se a transformação inversa nos pontos da nuvem terrestre, colocando ambas no mesmo referencial, neste caso o referencial geodésico. Pode-se perceber que o desvio-padrão dos pontos foram aceitáveis, ou seja, a correspondência dos pontos encontrados pela intersecção de planos e retas foi adequada, mesmo com densidade de pontos diferentes. A Fig. 13 a seguir mostra o resultado da integração.

Após a integração das nuvens de pontos, foi feita a rotulação dos pontos a partir do conceito estabelecido para as parcelas espaciais. Como a situação não é a ideal, foram estabelecidos dois cilindros para o teste metodológico, dividindo a região da área de estudo em duas parcelas espaciais cilíndricas. A intenção, neste caso, foi simular duas parcelas adjacentes, dividindo a nuvem de pontos. O raio utilizado para o cilindro foi de 11,50 metros, oriundo de uma testada de 23 metros. A profundidade utilizada foi de 20 metros. Os centros geradores dos cilindros são definidos pelos pontos da Tabela 2.

A Fig. 14 mostra o resultado da rotulação dos pontos em duas parcelas cilíndricas, em vermelho e em azul. Nesse caso, utilizou-se

Tabela 1: Parâmetros de transformação entre as nuvens de pontos

Parâmetro	Valor do parâmetro	Desvio-padrão
Rotação X (rad.)	0,553341	0,002804
Rotação Y (rad.)	-0,052737	0,006131
Rotação Z (rad.)	0,111036	0,013127
E (m)	677670,48734	0,059906
N (m)	7183789,10141	0,068592
h (m)	915,478115	0,104128
Escala	1,009331	0,002765

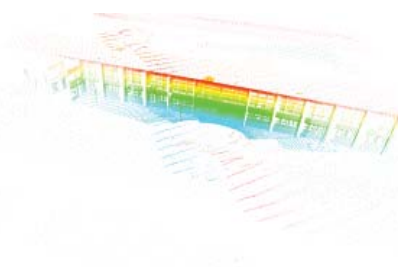


Fig. 13 - Resultado da integração das nuvens de pontos.

Tabela 2: Parâmetros dos cilindros utilizados na área teste

Cil.	E (m)	N (m)	H (m)	Raio (m)	Profund. (m)
1	677658,3	7183788,3	913,4	11,5	20
2	677679,4	7183778,4	913,4	11,5	20

o aplicativo *LASEdit* para a visualização das nuvens rotuladas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação da informação tridimensional ao Cadastro não é uma tarefa trivial e, portanto, exige uma cuidadosa análise sobre quais os objetivos que se procuram alcançar e as finalidades dessa informação. Não basta simplesmente acrescentar um dado sobre a altimetria de parcelas ou edificações. É necessário que os objetos tridimensionais estejam inseridos dentro de um modelo de Cadastro bem definido, onde os sistemas de referência utilizados estejam claros.

Este trabalho propôs trabalhar com a informação tridimensional mesmo em situações onde o modelo de Cadastro não existe ou ainda não contempla a tridimensionalidade dos objetos, principalmente no contexto urbano. Neste aspecto, os resultados apresentados foram satisfatórios, incorporando de fato a informação tridimensional às parcelas existentes no banco



Fig. 14: Resultado do processo de rotulação da nuvem de pontos.

de dados, já que o algoritmo classifica a nuvem de pontos com os atributos de interesse, principalmente a inscrição cadastral.

Embora o Brasil ainda não possua um modelo de Cadastro Urbano bem definido, as diretrizes gerais de Cadastro do Ministério das Cidades, lançadas em 2009, norteiam os princípios básicos da organização do Cadastro e suas informações básicas, mas ainda não contempla de modo claro o uso da informação tridimensional para o Cadastro Urbano.

Ressalta-se, contudo, que essa situação não é exclusiva do Brasil, pois encontrar um modelo de Cadastro para as mais diversas situações não é tarefa das mais triviais. Portanto, os resultados deste trabalho contribuem para a discussão do modelo básico de Cadastro, em discussão nos grupos de trabalho da FIG (Comissões 3 e 7).

O uso do cilindro como parcela espacial é uma contribuição importante para o Cadastro, pois abre um leque de possibilidades, não apenas para representação de objetos no espaço, mas também novas possibilidades de relacionamentos topológicos. A característica do cilindro proposto nesse trabalho faz uso de informações presentes no Cadastro ou que podem ser adquiridos em campo, e estabelece com base no valor de testada os limites de uso parcela espacial acima e abaixo da superfície.

É evidente que o limite de uso da parcela acima e/ou abaixo da superfície não depende apenas de um critério, mas a utilização do valor da testada pode contribuir para o estudo de impacto do uso da parcela espacial.

Outro aspecto importante a se ressaltar é a questão dos limites da parcela. O modelo proposto nesse trabalho não é um modelo para o chamado Cadastro Legal ou Registro de Imóveis, pois para esses, todos os limites devem ser materializados. Nesse trabalho, a contribuição fundamental é utilizar o conceito de parcela do Cadastro Territorial Multifinalitário como unidade geratriz para o Cadastro 3D, dados que os parâmetros do cilindro são obtidos da parcela na superfície terrestre.

Os poliedros utilizados, mencionados na literatura, não possuem seus limites materializados, o que também não ocorre com o cilindro. A única vantagem do cilindro nesse

aspecto é que, como ele é um sólido de revolução, sua face tangencia os limites planimétricos da parcela.

O modelo matemático proposto para o uso do cilindro e as condições para seu uso são consistentes, demonstrando que matematicamente é possível o uso do cilindro quadrático de revolução como parcela espacial. Os procedimentos de rotulação dos pontos dependem de parâmetros mínimos para sua execução e os pontos levantados em campo para o procedimento são de fácil acesso, não sendo necessário adentrar a parcela para levantar os pontos limites. A formulação matemática proposta não possui uma complexidade grande, uma vez que ela deve ser viável para implementação em sistemas de banco de dados.

As verificações topológicas dos objetos tridimensionais, dentro do cilindro, também são possíveis e como demonstradas matematicamente no trabalho, independem do formato dos objetos, já que o modelo trabalha exclusivamente com pontos, sejam eles oriundos das nuvens de pontos ou vértices de sólidos como tetraedro, poliedro e outros.

O procedimento de rotulação também apresentou resultados satisfatórios, sendo possível não apenas utilizar informações do banco de dados como também incluí-las.

O conceito RPC abre uma excelente oportunidade para o uso da nuvem de pontos para diversas aplicações. Neste trabalho, o atributo de interesse utilizado foi a inscrição cadastral, mas muitos outros podem ser incorporados. A visualização da nuvem de pontos ainda é uma questão pertinente, porém com o uso da biblioteca *LAStools* e softwares comerciais é possível visualizar os pontos em formato LAS inclusive exibindo alguns atributos.

Uma importante recomendação é testar o uso do cilindro como estrutura de armazenamento da parcela espacial em banco de dados e a possível implementação das consultas topológicas. Com isso, será possível contrapor os resultados com estruturas propostas por Stoter e Oosterom (2006), como o poliedro. Neste sentido, existem trabalhos correlatos a este sendo desenvolvidos para a organização da informação tridimensional do Cadastro Territorial em Banco de Dados.

AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem às empresas ESTEIO Engenharia e Aerolevantamento, Leica Geosystems, CPE, EGS, Instituto LACTEC e ao Professor Daniel Rodrigues dos Santos pela contribuição na obtenção dos dados para a pesquisa; à professora Vanessa Avansini Botta Pirani pelas contribuições nas discussões do modelo matemático do projeto e à FAPESP, pela bolsa concedida durante o doutorado processo número 2006/07267-9.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENS, C., STOTER, J.; OOSTEROM, P.V. Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. **Computers & Geosciences**, 31(2), 2005, pp.165-177.

BESL, P.J.; MCKAY, N.D., 1992. A method for registration of 3-D shape, **IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol.14, No. 2, pp. 239-256.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Portaria n.º 511 de 07 de dezembro de 2009. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros**. Diário Oficial da União - N.º 234. Seção 1 - Pág. 75. ISSN 1676-2339.

CARNEIRO, A. F.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e perspectivas de implementação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.º 64/2. 2012. p. 257-271.

EKBERG F. **An approach for representing complex 3D objects in GIS applied to 3D properties**. Thesis for Master of Geomatics, Department of Technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden; 2007.

ELMASRI, R., NAVATHE, S. B. **Sistema de Banco de Dados – Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2002. 788p

ERBA, D. A.; CARNEIRO, A. F.; AUGUSTO, E. A. A. 3D Cadastres in South America. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.º 64/6. 2012. p. 887-900.

FILIN, S. BORKA, A.; DOYTSHER, Y. From 2D to 3D Land Parcelation: Fusion of LiDAR Data and Cadastral Maps. **Surveying and Land Information Science**, Vol. 68, No. 2, 2008, pp. 81-91.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. **Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System**. 1998 (Rheinfal, Switzerland: FIG).

NEBIKER, S.; BLEISCH, S.; CHRISTEN, M. “Rich point clouds in virtual globes – A new paradigm in city modeling?,” **Computers, Environment and Urban Systems**. Elsevier. . ISSN: 0198- 9715. 2010

OOSTEROM, P. et al. Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration. XXIII FIG Congress. **Anais Eletrônicos**, Munich. Germany, 2006.

PAASCH, J. M.; OOSTEROM, P. V.; JENNY PAULSSON, J.; LEMMEN, C. Specialization of the Land Administration Domain Model (LADM) – An Option for Expanding the Legal Profiles. FIG Working Week 2013. **Anais eletrônicos**. Abuja, Nigeria, 2013

RAVADA, S.; KAZAR, B. M.; KOTHURI, R. Query processing in 3d spatial databases: Experiences with oracle spatial 11g. In J. Lee and S. Zlatanova, editors, **3D Geo-Information Sciences**, pages 153–173. Springer, 2009.

SHOSHANI, U.; BENHAMU, M.; GOSHEN, E.; DENEKAMP, S.; BAR, R. A multilayers 3D Cadastre in Israel: a research and development project recommendations. FIG Working Week 2005 and GSDI-8. **Anais Eletrônicos**. Cayro, Egypt, 2005.

STOTER, J.; OOSTEROM, P.V. **3D Cadastre in an International Context: legal, organizational and technological aspects**, New York, EUA: CRC Taylor & Francis, 2006.

