



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**MODELO DIGITAL DE EDIFICAÇÕES A PARTIR DE DADOS  
*LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING)***

**Vitor Hugo Santos da Silva**

Orientador: Prof. Msc. Giuliano Marotta

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA  
2011



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO

**MODELO DIGITAL DE EDIFICAÇÕES A PARTIR DE DADOS  
*LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING)***

**Vitor Hugo Santos da Silva**

Orientador: Prof. Msc. Giuliano Marotta

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA  
2011

## Resumo

O presente trabalho descreve a modelagem semiautomática de edificações com diferentes formas e alturas a partir de dados LiDAR (Light Detection And Ranging) obtidos por levantamento aéreo. O fluxo metodológico envolve processos de filtragem, classificação e modelagem, como também a validação dos resultados obtidos usando recomendações da ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing), tendo dados cartográficos e GNSS (Global Navigation Satellite Systems) como suporte. As etapas foram desenvolvidas em software CAD através de módulos específicos de tratamento e modelagem LiDAR que foram analisados posteriormente em software com ferramentas características SIG (sistemas de informações geográficas). Os resultados demonstraram coerência com as características espaciais das áreas de estudo escolhidas. Foram modeladas cerca de 100 edificações distintas, variando entre pequenas casas a complexos edifícios. A tecnologia LiDAR se destaca por sua precisão e agilidade, gerando uma densa nuvem de pontos, que quando combinada com dados semânticos, produzem uma fonte preciosa de informação para análises de ambientes urbanos.

Palavras-chave: Classificação, modelagem, LiDAR e tridimensional.

## **Abstract**

This paper describes the semi-automatic modeling of buildings with different shapes and heights from LiDAR (Light Detection and Ranging) data obtained by aerial survey. The methodology involves filtering processes, classification and modeling as well the validation of the results using recommendations of ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing), maps and GNSS data as support. The steps were developed using CAD software by treatment and modeling LiDAR modules that were subsequently analyzed by software with GIS (geographic information systems) tools. The results showed consistency with the spatial characteristics of the study areas. Were modeled around 100 different buildings, ranging from small houses to complex buildings. LiDAR technology is notable for its precision and agility, creating a dense cloud points, which when combined with semantic data, produce a valuable source of information for urban environments analysis.

Keywords: classification, modeling, and three-dimensional LiDAR data

## Sumário

1	Introdução .....	5
2	Embasamento Teórico.....	7
2.1	Laser.....	7
2.2	Sistema LiDAR.....	9
2.2.1	Retorno.....	11
2.2.2	Intensidade.....	13
2.2.3	Fonte de Erros.....	14
2.2.4	Formato LAS.....	14
2.2	Extração de modelos digitais de edificação a partir de dados LiDAR.....	15
3	Objetivo.....	16
4	Materiais e Métodos.....	16
4.1	Áreas de estudo.....	16
4.2	Materiais.....	17
4.2.1	Dados LiDAR.....	17
4.2.2	Dados Cartográficos.....	20
4.2.3	Dados GNSS.....	20
4.2.4	Softwares.....	21
4.3	Métodos.....	22
4.3.1	Aquisição.....	23
4.3.2	Filtragem.....	24
4.3.3	Classificação.....	26
4.3.4	Validação.....	31
4.3.5	Modelagem.....	33
5	Resultados.....	37
6	Discussões e Conclusão.....	39
7	Referências Bibliográficas.....	41

## 1 Introdução

A crescente demanda por informações espaciais exige novas formas de aquisição e representação dos dados geográficos. Nos últimos anos houve uma grande evolução nos equipamentos que registram e processam em tempo real objetos em três dimensões. A representação tridimensional dos elementos da superfície terrestre permite atingir novos patamares nas análises espaciais, trazendo maior proximidade com a realidade implicando em segurança no suporte e tomadas de decisões.

Modelos tridimensionais podem ser gerados, basicamente, de duas formas (OLIVEIRA, 2000):

- Artística, na qual designers e proprietários de ferramentas de criação de modelos tridimensionais (3D Studio Max, Maya, Google Sketchup, etc.) desenvolvem manualmente objetos baseados em fontes próprias de informação, como fotos, imagens, vídeos ou maquetes, e os inserem nas superfícies pré-existentes. Esses objetos não representam necessariamente o modelo com fidelidade, já que são produzidos a partir da interpretação do criador; e
- Dado real, gerado através de sensores com precisão comprovada. Podem ser gerados com sensores aerotransportados, através da restituição de pares estereoscópicos de imagens de satélite ou aerofotogrametria, ou com mapeamento a laser através de voo na região de interesse. Outra forma de obter o dado real é do próprio chão, através de sensores fixos ou embarcados em veículos.

O levantamento *in situ* utilizando métodos convencionais (p. ex., estação total ou instrumentos GPS) pode fornecer informações x, y, z precisas. Entretanto, os trabalhos de campo demandam tempo e têm um alto custo por ponto adquirido (JESEN, 2009). Além dos métodos diretos, a restituição fotogramétrica permite a aquisição de dados tridimensionais em escala regional mais rapidamente, porém, demandam técnicos treinados em fotointerpretação que possam selecionar os pontos nas imagens de acordo com suas características espaciais, espectrais e temporais.

No entanto, a extração de edifícios manualmente a partir de imagens é altamente trabalhoso, demorado e muito caro. Durante as últimas duas décadas pesquisadores em fotogrametria, sensoriamento remoto e as comunidades de visão computacional tentam estudar e desenvolver abordagens automáticas e semiautomáticas para a extração e reconstrução de edifícios. (GRUEN et al., 1997; MAYER, 1999 apud ROTTENSTEINER e BRIESE, 2001)

A tecnologia *laser scanning* foi desenvolvida para melhorar os levantamentos altimétricos a partir de plataformas aéreas. Esta tecnologia abre um grande leque de perspectivas no estudo do ambiente urbano, onde é necessário conhecer tanto a projeção horizontal da área como a altura dos objetos (WEHR e LOHR, 1999 apud RIBEIRO, SANTOS, CENTENO, 2002).

O uso de dados *LiDAR* permite a otimização na produção dos modelos digitais de superfície (MDS) e de terreno (MDT). Sua eficiência em coletar uma grande massa de dados aliado aos modelos de filtragem, interpolação e modelagem permitem, dentre outras aplicações:

- Análises de visibilidade (ex. linhas de transmissão, torres de telecomunicação, planejamento urbano etc);
- Análises biométricas (ex. monitoramento costeiro, silvicultura, mineração etc);
- Detecção de feições (ex. rodovias, trilhos, modelagem de edifícios em 3 dimensões;
- Retificação de imagens orbitais e áreas;
- Geração de True-ortophoto; e
- Melhorar modelos hidrológicos.

De acordo com Giongo et al (2010) , apesar de o laser não ser uma nova tecnologia, sua utilização na aquisição de dados geográficos é relativamente recente. Seu uso em sistemas LiDAR vem demonstrando uma excelente capacidade para a aquisição de uma grande quantidade de informações, em pequeno intervalo de tempo.

*Laser scanning*, muitas vezes também referido como LiDAR, está operacional para a reconstrução de superfície e objetos desde meados da década de 90. Sensores continuamente em desenvolvimento, bem como, em aspectos de processamento de dados. Taxas mais elevadas de medição, maior precisão, maior alcance espectral e extração de alvo ou objeto de propriedades além da faixa são alguns dos desenvolvimentos referente a este tipo de sensor (PFEIFER e BRIESE, 2007).

Segundo Toth (2009), sistemas LiDAR, em geral, continuam a avançar, seguindo tendências semelhantes às imagens de sensoriamento remoto, aonde antigas lacunas entre levantamentos terrestres, aéreos e orbitais não apenas desapareceram, como é crescente a sobreposição de imagens adquiridas de diferentes plataformas. Além disso, a tecnologia LiDAR, principal fonte de dados de superfície em escala local, provavelmente estenda o campo de extração de características, tendo em vista que a densidade da nuvem de pontos continua a aumentar.

A modelagem de edifícios a partir de dados LiDAR é tema recorrente nos principais congressos da área de cartografia, sensoriamento remoto e fotogrametria. Pesquisadores de

empresas privadas e institutos de pesquisa, como o Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE) apresentam bons resultados na extração semiautomática de modelos digitais de edificação utilizando dados LiDAR. Trabalhos apresentados por Santos et al. (2011) e Deus et al. (2011) utilizaram ferramentas de classificação e modelagem automatizados de elementos urbanos que demonstram o potencial da tecnologia.

A indústria e o mercado de sistemas informações geográficas sinalizam para a tendência de maior utilização dos modelos em 3 dimensões. Nesse sentido a *Open Geospatial Consortium* (OGC) criou um novo padrão para representação e intercambio de cidades virtuais. O CityGML é o modelo de informação comum para a representação de objetos tridimensionais urbanos que define as classes e as relações topográficas mais relevante nas cidades e modelos regionais com relação à suas geometrias, topologias, semânticas e propriedades de aparência.

Diante do exposto, a presente monografia apresenta uma modelagem de edificações a partir da manipulação de dados *LiDAR* obtidos através de perfilamento aéreo, buscando condensar metodologias existentes além de tecnologias auxiliares para a sua validação.

A metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho levou em consideração, além da modelagem como objetivo principal, a discussão sobre a qualidade posicional e semântica dos dados utilizados na modelagem. Para tanto, buscou-se a utilização de outras fontes de informações que permitissem a validação dos resultados.

Buscou-se o uso tecnologias auxiliares como posicionamento preciso através de levantamentos GNSS, para validar a componente posicional do trabalho, assim como, o uso de cartas topográficas, em escala cadastral, obtidas através de restituição de imagens óticas oriundas de aerofotogrametria digital, para avaliar a qualidade semântica dos modelos.

## **2 Embasamento Teórico**

A seguir serão apresentados os principais conceitos utilizados na realização deste trabalho, obtido a partir da revisão bibliográfica, consulta em anais de congressos além de verificação de padronizações internacionais. Determinados por instituições reconhecidas, tais referências estão sistematizadas para melhor entendimento dos processos metodológicos utilizados.

### **2.1 Laser**

Antes de apresentar os conceitos da principal tecnologia utilizado neste trabalho, achou-se necessário uma introdução sobre os princípios do *laser*, acrônimo para *Light Amplification by*



*the Stimulated Emission or Radiation*, ou seja, Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação. Dentre suas características de produzir energia eletromagnética se destacam as capacidades de ser:

- Monocromática - Comprimento de onda bem definido;
- Coerente - Ondas dos fótons que compõe o feixe estão em fase; e
- Colimada - Propagação como um feixe de ondas praticamente paralelas.

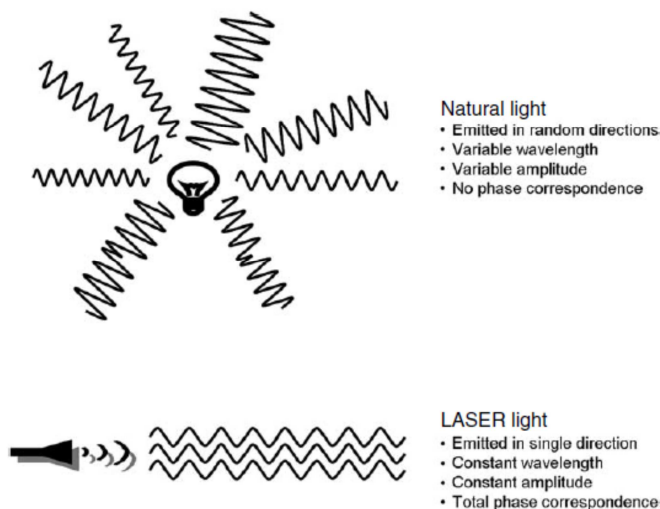


Figura 1 – Diferenças entre luz natural e laser (Fonte: HERITAGE e LARGE , 2009)

Radiação eletromagnética (incluindo a luz) exibe ambas as propriedades das ondas e partículas. Como tal, pode ser caracterizada por um comprimento de onda, frequência e intensidade. Conforme descrito na equação abaixo a luz é composta de fótons que não possuem massa e energia ( $E$ ) proporcional ao comprimento de onda ( $\lambda$ ):

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Onde  $h$  é a constante de Planck e  $c$  a velocidade da luz.

A luz visível localiza-se entre os comprimentos de onda de 400 nm e 700 nm, enquanto o alcance do *laser* se expande para as regiões do infravermelho e ultravioleta do espectro eletromagnético. A Figura 2 mostra a classificação padrão para o espectro baseado nos comprimentos de ondas (HERITAGE e LARGE , 2009).

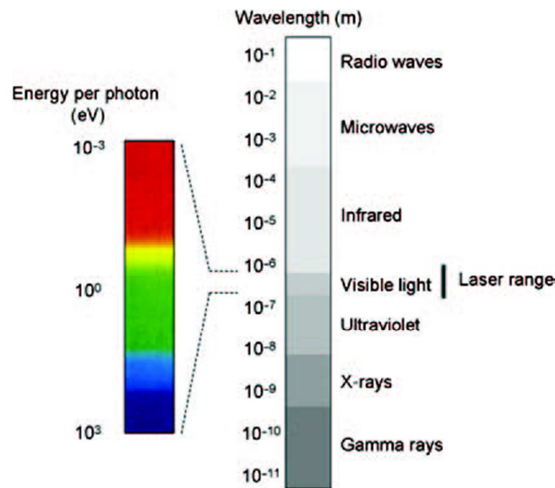


Figura 2 – Espectro eletromagnético segmentado por comprimento de onda (Fonte: HERITAGE e LARGE , 2009)

O uso da tecnologia laser como instrumento de medição remota a década de 1960. Segundo Large e Heritage , (2009) temos a seguinte evolução:

- 1958 – Charles Townes e Arthur Schawlow sugerem a possibilidade de um feixe estreito de radiação monocromática intensa que trafegue grandes distâncias poderia ser dirigido precisamente (Price & Uren 1989);
- 1960 – Primeiro laser é desenvolvido e emite pulsos colimados de luz vermelha;
- 1966 – Primeiro instrumento de medição de distância a laser;
- 1971 – Comercializado o primeiro equipamento laser para alinhamento;
- Anos 70 – Absorção do uso do laser nas áreas de engenharia de levantamentos e construções;
- Anos 80 e 90 – Surgimento de sistemas adaptados mais robustos e de maior vida útil;
- Final do Século 20 e dias atuais – Os equipamentos laser compõem obrigatoriamente uma grande gama de instrumentos permitindo a medição do ambiente em quase sua totalidade.

## 2.2 Sistema LiDAR

De acordo com Giongo et al. (2010) LiDAR, sigla utilizada para *Light Detection and Ranging*, é um termo que tem sido utilizado para designar esta nova tecnologia de sensoriamento remoto. Em português vem sendo utilizada a terminologia de Sistema de Varredura a Laser ou de Perfilamento a Laser. O termo LaDAR (*Laser Detection and Ranging*) também é utilizado, porém, com mais frequência em aplicações militares.

O sistema de varredura *laser* é um sistema ativo usado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos e, com isto, estimar a altura dos pontos na superfície. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser que é emitido em direção aos objetos. Ao atingir a superfície dos objetos, este feixe é refletido e um eco retorna ao sistema, que faz o papel de emissor e sensor da energia. O sistema é então encarregado de medir este eco e registrar o tempo decorrido entre a emissão e a captação do eco. A partir da intensidade do sinal de retorno é possível derivar informações a respeito da natureza da superfície do objeto, mas o dado mais relevante é o tempo decorrido entre a emissão e o registro do eco, pois permite calcular a distância entre o sensor e o objeto. (CENTENO, 2004)

Além do sensor propriamente dito, os sistemas LiDAR são compostos por uma unidade de medição inercial (*inertial measurement units – IMU*), que utiliza giroscópios e acelerômetros para determinar a orientação da antena no momento da aquisição dos dados, além de um receptor GNSS, que determina a posição do sistema através de levantamento diferencial, registrando em conjunto com uma estação base todo o trajeto da plataforma.

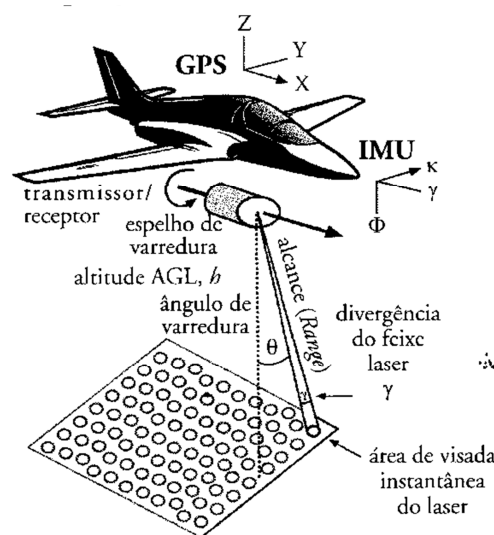


Figura 3 – Aquisição de dados LiDAR (Fonte: JENSEN, 2009)

As principais variáveis relacionadas com o sistema LiDAR de acordo com Baltsavias (1999) são resumidas a baixo.

- Distância (Range) – Distância entre o sensor LiDAR e o objeto.

$$R = \frac{1}{2}tc$$

Onde  $C$  = velocidade da luz e  $T$  = tempo de percurso de um pulso de luz

- Área de cobertura de um pulso – Área aproximadamente circular que varia com o ângulo de varredura e a topografia.

$$F_{P_{inst}} = \frac{h}{\cos^2(\theta_{inst})} \gamma$$

Onde  $h$  = altitude da aeronave,  $\theta_{inst}$  = ângulo de varredura instantâneo e  $\gamma$  = divergência do feixe laser.

- Largura da faixa de cobertura – Largura limite da faixa de aquisição de pontos perpendicular à trajetória de voo.

$$SW = 2h \tan \frac{\theta}{2}$$

Onde  $h$  = altitude da aeronave e  $\theta$  = ângulo de varredura.

- Espaçamento dos pontos perpendiculares à trajetória

$$P_{spacing} = \frac{h}{\cos^2 \theta_{inst}} \times \frac{\alpha_{inst}}{PRF}$$

Onde  $h$  = altitude da aeronave,  $\theta_{inst}$  = ângulo de varredura,  $\alpha_{inst}$  = velocidade angular de varredura instantânea e PRF = frequência de repetição de pulso.

### 2.2.1 Retorno

Segundo Centeno (2004) a unidade de medição laser é responsável pela determinação da distância entre o sensor e a superfície. Para isto existem duas alternativas: o sistema de pulsos e o sistema de onda contínua. O sistema de pulso é o mais usado e se baseia na emissão e recepção de curtos pulsos de energia.

Quando os sistemas LIDAR para mapeamento foram desenvolvidos para fins comerciais, os sensores não foram eletronicamente capazes de gravar toda a forma de onda do sinal de retorno. Um filtro foi aplicado para detectar picos na forma de onda refletida e registrar o momento como retornos discretos (Em: <[www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873](http://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873)>. Acesso em 20 de novembro 2011: ).

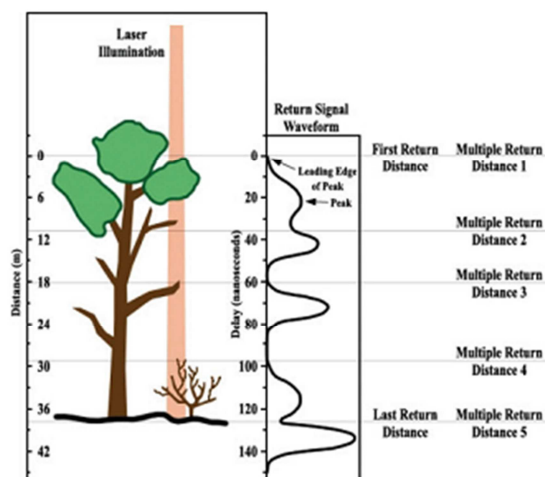


Figura 4 - Picos de retorno de energia (Fonte: <[www.education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873](http://www.education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873)>).

A Figura 5 sintetiza a forma como um pulso laser pode interagir com objetos. O pulso A aparentemente não sofre com múltiplos retornos, pois não interage durante seu percurso de encontro com o terreno com nenhum objeto, porém pequenos elementos como gramas ou partículas solidas em suspensão poderão gerar múltiplos retornos mesmo que esses tenham uma diferença de altura muito pequena.

O trajeto do pulso B encontra obstáculos de diversas alturas, causadas pelo dossel da árvore, mas uma quantidade suficiente de energia laser a luz é capaz de continuar a gerar retornos a partir de partes inferiores da árvore, e, finalmente, a partir do solo.

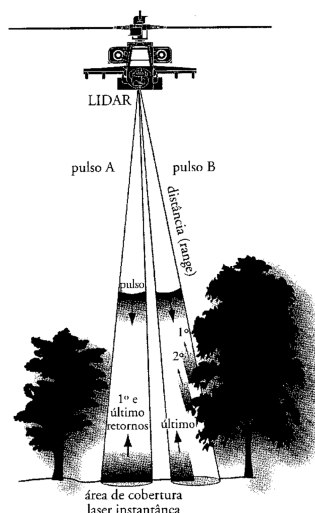


Figura 5 – Múltiplos retornos a partir de um pulso laser (Fonte: JENSEN, 2009)

A escolha dos pontos por seus retornos possibilita combinações com as outras características da nuvem de pontos auxiliando a extração de temas específicos. Retornos

primários permitem gerar modelos digitais de superfície tais como edifícios, pontes, linhas de transmissão copa de árvores etc. Retornos intermediários são úteis para separar a vegetação gerando modelos de densidade. Os últimos retornos podem ser uma primeira aproximação da superfície em terrenos limpos.

### 2.2.2 Intensidade

Além dos dados de retorno, a nuvem de pontos obtidos por um sistema LiDAR, normalmente, fornece a informação sobre os picos de intensidade do sinal de retorno que permitem extrair informações sobre a composição dos alvos atingidos. Normalmente, objetos com grande refletividade, como materiais metálicos, mostram um maior valor de intensidade do que objetos escuros, como materiais asfálticos.

Os dados de intensidade podem ser usados para gerar uma visualização em tons de cinza, quantizados para 8 bits permitindo uma paleta variando de 0 a 255 tons. O resultado é semelhante a uma fotografia aérea pancromática, no entanto os valores correspondem a refletância da superfície no comprimento de onda do laser aplicado.

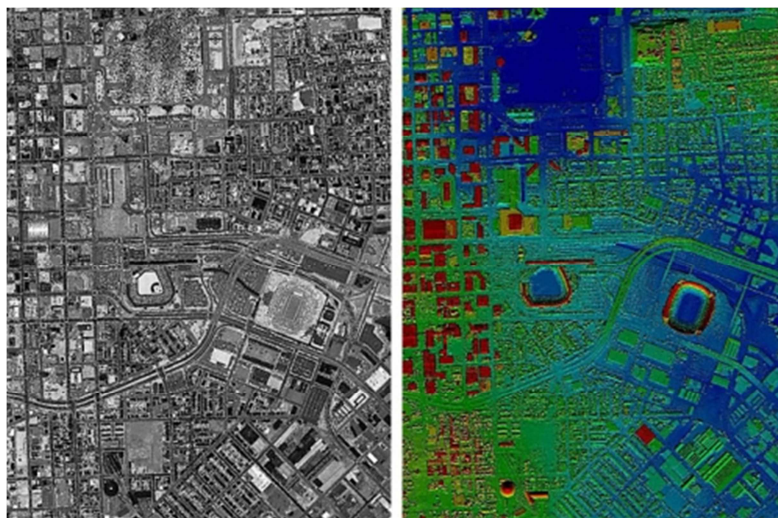


Figura 6 – Comparação entre intensidade e altitudes de uma nuvem de pontos ([www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873](http://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873)).

Apesar da semelhança, quando comparado com uma banda do infravermelho próximo obtido por sensor ótico passivo, são notadas certas diferenças, como no caso de vegetações densas onde o pulso laser é retroespalhado dentro do dossel das árvores tornando a resposta da intensidade mais baixa se contrapondo ao resultado natural de uma imagem ótica que nesta faixa apresenta um resultado mais brilhante.

Outros fatores também contribuem na influência do valor de intensidade como o ângulo de incidência e a distância do alvo, dessa forma pontos mais afastados do nadir podem ter seus retornos mais alterados por ficarem fora da capacidade de captação dos pulsos envolvidos ou sofrendo maior influência atmosférica.

### **2.2.3 Fonte de Erros**

Os componentes de um sistema LiDAR possuem diferentes unidades e precisões, dificultando a identificação pontual de uma fonte de erros podendo ter origem em qualquer etapa no processo de aquisição dos dados. Algumas fontes importantes de erro são listados abaixo (TIWARI e PANDE apud WANG, 2011):

1. Erro de posição do sensor devido a um erro no GPS, IMU ou na integração GPS-IMU;
2. Erro devido aos ângulos de incidência laser por não estarem perfeitamente alinhados com os eixos da aeronave. Podendo haver diferença de calibração do laser scanner e/ou IMU. Além disso, a medição do ângulo do scanner pode conter erro;
3. O vetor da antena GPS para o sistema de referência IMU é necessário no processo de geolocalização. Esse vetor é observado fisicamente e podendo conter erro na sua observação. Isso pode ser variável de vôo para vôo e também dentro do início e no final de um levantamento, devendo ser observado antes e após os trabalhos;
4. Pode haver erro na medição a laser devido à medição do tempo, correção atmosférica e ambiguidades na superfície do alvo;
5. Erro também é introduzido em dados LiDAR devido à complexidade no espaço objeto, por exemplo, superfícies íngremes levam a uma maior incerteza nas coordenadas X, Y e Z. Além disso, a precisão varia de acordo com diferentes tipos de coberturas do terreno; e
6. A divergência de resultados devido ao diâmetro finito do laser ao invés de um único ponto no terreno, levando à incertezas nas coordenadas.

### **2.2.4 Formato LAS**

Necessário para diminuir a dificuldade de comunicação entre diversos sistemas, melhorando o fluxo de trabalho, a padronização também se faz presente no universo LiDAR. Para tanto, foi desenvolvido um formato público para o intercâmbio de nuvem de pontos, denominado LAS. Segundo o comitê de padrões da ASPRS, este formato de arquivo binário é uma alternativa aos modelos proprietários ou arquivos ASCII genéricos usados por várias empresas.

Os dados incluídos no formato LAS combinam as informações dos sistemas GPS, IMU e pulso *laser*, obtidos durante o levantamento, produzindo assim pontos (x,y,z) e suas respectivas intensidades. A especificação mais atual para o formato LAS, versão 1.3, foi aprovada em julho de 2009, porém já se encontra em estudo a versão 2.0 para o formato.

## 2.2 Extração de modelos digitais de edificação a partir de dados LiDAR

A grande dificuldade em extrair modelos digitais de edificação é a falta de um processo totalmente automatizado que entregue resultados condizentes com a realidade. Rotinas que combinam fontes de dados com componentes espaciais e espectrais distintas parecem suprir as limitações de particulares cada tipo de dado.

Segundo DEUS et al (2011) nesse sentido, a utilização de dados tridimensionais, como os obtidos por sistema LiDAR, é mais uma fonte de recursos que podem auxiliar na classificação da cobertura do solo, uma vez que a inclusão de dados de altura pode contribuir na discriminação de alguns alvos urbanos que apresentam características espectrais semelhantes.

A utilização de LiDAR como fonte de informação espacial na extração de modelos de edificação apresenta um grande avanço na automação dos processos. Estudos envolvendo dados LiDAR e imagens áreas, satélites de alta resolução e mapas em duas dimensões foram citados como exemplo por Chen et al (2005);

Kraus (2007) diz que a geração de modelos de edificação a partir de dados laser scanner é um tema recorrente e de pesquisa intensiva e apresenta dois métodos para a geração de modelos.

- O primeiro método inicia através da formação da diferença entre um MDS e um MDT. O modelo de diferença contém não apenas edificações como também vegetação e muitos outros objetos dispostos acima do MDT. Pontos de edificações são extraídos do modelo de diferença usando técnicas especiais de filtragem. Com os pontos filtrados, áreas planas são sequencialmente detectados e planos individuais são unidos para a formação dos telhados.
- O segundo método apresenta similaridades com o primeiro. No entanto, são utilizados planos em duas dimensões de dados sobre edificações, disponíveis em ambiente SIG, para fazer a seleção dos dados de telhado classificados anteriormente.



### 3 Objetivo

O objetivo principal do presente trabalho é gerar de forma semiautomática modelos digitais de edificações de diversas alturas e formatos a partir de dados LiDAR obtidos por aerolevanteamento. Tendo como objetivos secundários:

- Avaliar a precisão altimétrica dos dados;
- Validar os modelos gerados com dados de sistemas óticos; e

### 4 Materiais e Métodos

Neste capítulo é apresentada a área de estudos, onde os dados foram coletados, são descritos os materiais e métodos, incluindo os tipos dados e softwares utilizados e a metodologia detalhada aplicada para a obtenção dos resultados.

#### 4.1 Áreas de estudo

As áreas de estudo escolhidas possuem características urbanísticas bem distintas e estão situadas na regiões denominadas Setor Habitacional Águas Claras e Arniqueira, na cidade de Brasília – Distrito Federal. Es duas regiões apresentam edificações utilizadas como base para a realização do trabalho. A característica principal da primeira é seu padrão de distribuição bem definido porem com edifícios apresentando estruturas mais complexas evidenciadas por uma maior variação de alturas. A segunda região se caracteriza por sua ocupação, realizada nos últimos 10 anos de forma irregular trazendo portanto diversas formas de edificações e padrões de distribuição espacial. A seguir são apresentas figuras 7 e 8 contendo as áreas escolhidas.



Figura 7 – Área de estudo 1



Figura 8 – Área de estudo 2

## 4.2 Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados obtidos por levantamento aéreo das regiões de estudo utilizando um sensor LiDAR. A seguir, inicialmente, são apresentadas as especificações e características mais importantes deste sensor laser para então descrever os detalhes dos dados e programas utilizados durante todas as etapas do trabalho.

### 4.2.1 Dados LiDAR

O sensor ALS 60 (Figura 9), produzido pela empresa alemã *Leica Geosystems*, é um sistema laser compacto que faz parte da terceira geração de equipamentos *laser scanning* produzidos por esta companhia. Este sensor permite a aquisição de uma nuvem de pontos georreferenciada a partir de diversas plataformas aéreas, tais como aeronaves e/ou helicópteros.

Seu sistema é composto por:

- LS60 Scanner
- Sistemas Eletrônicos (LC60 Controle Laser + SC60 Controle do Sistema)
- Cabos de conexão
- OC52 Interface de operação
- Placa de isolamento de vibração
- Antena GNSS/GLONASS



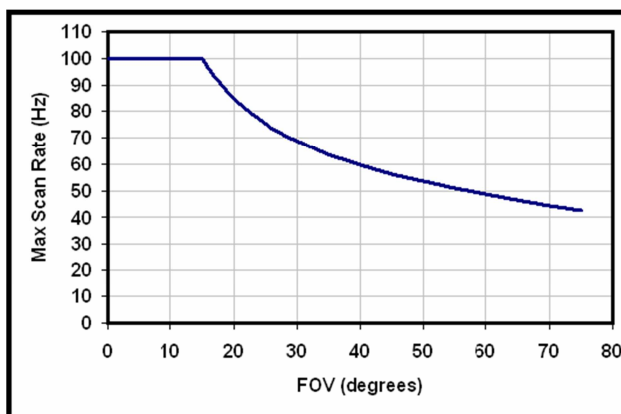
Figura 9 – Sistema LiDAR ALS 60

As características técnicas básicas deste sensor estão listadas abaixo.

- Espelho de varredura projetado para usos de até 5000 m (Agl);
- Taxa de varredura laser de 200 KHz;
- Ângulo de abertura (FOV) de até 75 graus;
- 4 retornos por pulso (primeiro, Segundo, terceiro, ultimo);
- Tecnologia multipulsos no ar;
- Interface para integração com sensores imageadores externos; e
- Câmera digital integrada com resolução XGA (1280x1024) .

As especificações técnicas, apresentadas pela empresa *Leica Geosystems* (disponível em [http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ALS60-Airborne-Laser-Scanner\\_57629.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ALS60-Airborne-Laser-Scanner_57629.htm) <Acesso: 13 de novembro 2011>), apontam que sua taxa de varredura, ou frequência de repetição de pulso, decresce conforme o ângulo de abertura aumenta. O Gráfico 1 apresenta o comportamento descrito.

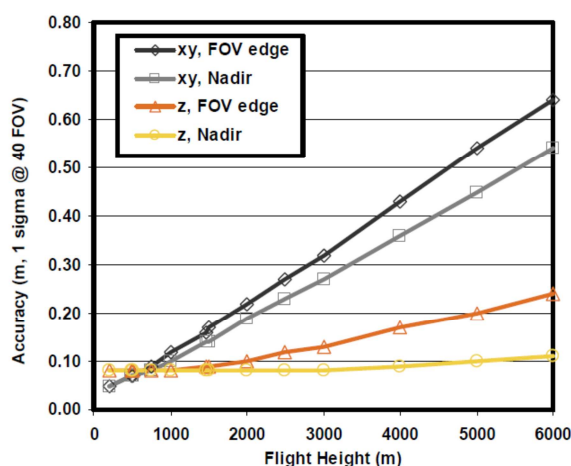
Gráfico 1 – Taxa de varredura relacionada com ângulo de abertura



Outra característica peculiar ao sensor ALS 60 é a capacidade de obter múltiplos pulsos durante a varredura. Tal procedimento permite o aumento da taxa de amostragem de pontos e é habilitado com a tecnologia MPiA (Multiple Pulses in Air). O gráfico abaixo apresenta o desempenho de taxa de amostragem, assumindo um ângulo de abertura de 40 graus, das duas formas de obtenção de dados.

Ainda segundo as especificações técnicas do fabricante, o sistema ALS 60 produz dados pós-processados com acurácia planimétrica de 7 a 64 cm e acurácia altimétrica de 8 a 24 cm, com desvio-padrão de  $1\sigma$  para levantamentos com altura de voo até 6000 e ângulo de abertura de 40 graus. A seguir o Gráfico 2 apresenta uma estimativa assumindo um ângulo de abertura de 40 graus e erro nominal de 5 cm no sistema GNSS.

Gráfico 2 – Estimativa de acurácia do sensor



Para este trabalho, os dados LiDAR utilizados foram obtidos por levantamento aéreo com o sensor Leica ALS 60, realizado na pela empresa TOPOCART, em 2010. utilizando uma aeronave Seneca. Os dados foram levantados com ângulo de abertura do sensor de  $30^\circ$ , proporcionando uma densidade de 3,1 pontos por metro quadrado (Tabela 1)

Tabela 1 – Características dos dados LiDAR utilizados

Fornecedor	Sensor	Data	Frequência	Ângulo de Varredura	Altura de Voo	Densidade de Pontos
Leica	ALS 60	Setembro 2010	100 Khz	$30^\circ$	1350 m	3,1 Pontos/m <sup>2</sup>

#### 4.2.2 Dados Cartográficos

Os dados cartográficos utilizados neste trabalho contemplam ortofotocartas (Figura 10) de diferentes escalas e épocas. O material foi gerado por restituição fotogramétrica digital a partir de pares estereoscópicos de imagens obtidas por aerolevanteamento. A Tabela 2 a seguir resume as informações principais dos materiais utilizados

Tabela 2 – Resumo das características dos dados cartográficos

Local	Sensor	Data de Aquisição	Tamanho Nominal do Pixel	Escala
Arniqueira	UltraCam XP	Novembro/2010	10 cm	1:1.000
Águas Claras	UltraCam XP	Setembro/2009	1 m	1:10.000

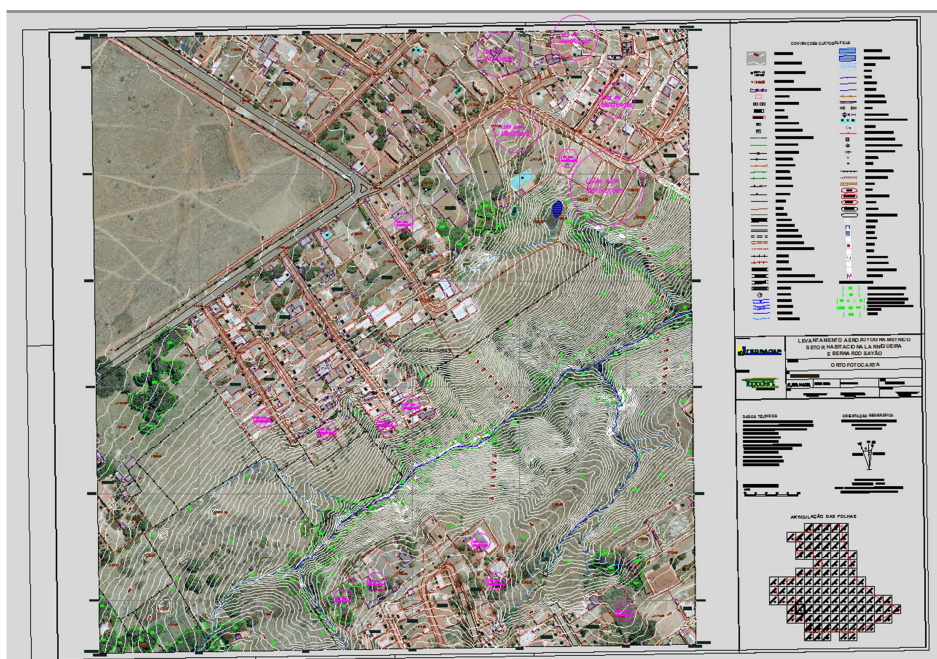


Figura 10 – Exemplo de ortofotocarta cadastral utilizada

#### 4.2.3 Dados GNSS

Dados obtidos por levantamento estático GNSS, necessários para validação da precisão do referido trabalho, em toda a extensão da área de estudo. Para a validação foram escolhidos 12 pontos bem definidos em campo, que foram rastreados de forma precisa e com suas altitudes obtidas por nivelamento geométrico tendo como referencial geodésico SIRGAS 2000, época 2000,4, com coordenadas planas UTM associados ao fuso 23 sul.

Tabela 3 – Coordenadas planas UTM obtidas por GNSS

<b>Ponto</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Norte</b>	<b>Altitude Campo</b>
T194	178787,901	8245507,953	1068,502
T194A	178639,665	8245806,484	1070,364
PA01	178493,59	8249447,745	1088,896
PA01A	178059,566	8249291,796	1072,979
PA02	183036,284	8243955,979	1020,906
PA02A	182886,976	8244066,296	1033,815
PA03	181122,721	8243778,045	1051,682
PA03A	180877,912	8244031,406	1053,446
PA05	177323,447	8248935,671	1082,445
PA05A	177586,733	8249030,143	1079,668
PA07	179511,69	8247598,561	1071,527
PA07A	179461,898	8247740,992	1073,239

#### 4.2.4 Softwares

A seguir são apresentados os softwares utilizados para a execução do trabalho de forma a atender os objetivos propostos.

O Microstation é um software CAD produzido pela empresa Bentley, inicialmente era dedicado a atividades de engenharia e arquitetura. No entanto, as novas versões incluem recursos avançados nas áreas de modelagem e visualização. Este software possui várias extensões que também permitem trabalhar com modelos em três dimensões. Dentre as extensões capazes de proporcionar modelagem em terceira dimensão estão as desenvolvidas pela empresa TerraSolid.

Algumas características se destacam no Microstation, como a interoperabilidade entre formatos CAD, capacidade de associar sistemas de coordenadas aos projetos permitindo a junção de outros tipos de dados além de visualizadores dinâmicos e interativos que permitem um maior controle nas modelagens em três dimensões.

Para o processamento de dados LiDAR foi escolhido o *software* TerraScan da empresa finlandesa TerraSolid. Embarcado como um módulo no Microstation, o TerraScan torna possível a manipulação de grandes quantidades de informação pois permite gerar pequenos

blocos geográficos evitando perda de desempenho. Entre as principais características do TerraScan pode-se destacar:

- Permite a leitura de diversos formatos proprietários de arquivos de pontos ;
- Automação de processos;
- Detecção de linhas de transmissão e telhados; e
- Exportação de pontos de elevação como formato raster.

Para a visualização e análises dos dados espaciais foi utilizado o pacote de soluções ArcGIS da empresa ESRI. Referência como principal software SIG - sistemas de informação geográfica, este programa engloba ferramentas de análise, gestão e mapeamento. A escolha se deu por sua grande gama de ferramentas topológicas e por sua interoperabilidade.

Quadro 1 – Resumo dos programas utilizados no trabalho

Fabricante	Programa	Versão	Aplicação
Bentley	Microstation	V8	Gestão dados LiDAR
Terrasolid	Terrascan	011.015	Filtragem, Classificação e Modelagem LiDAR
Esri	ArcGIS	10	Análise, Validação e Visualização dos Modelos 3D

### 4.3 Métodos

A seguir é apresentado o fluxo metodológico da execução das etapas para a realização do trabalho (Figura 11).



Figura 11 – Fluxograma metodológico

### 4.3.1 Aquisição

A partir dos dados LiDAR, obtidos conforme descrito na seção 4.2.1, foram definidos os locais de estudo. Os dados brutos, provenientes do sensor ALS 60 e dos locais pré-definidos, foram posteriormente convertidos para formato LAS, em sua versão 1.2 (Figuras 12 e 13). Este se apresenta como formato universal e busca facilitar a manipulação da informação em diferentes softwares quando necessário.

A Tabela 4 apresenta a configuração com que os dados foram adquiridos e transformados para o formato LAS.

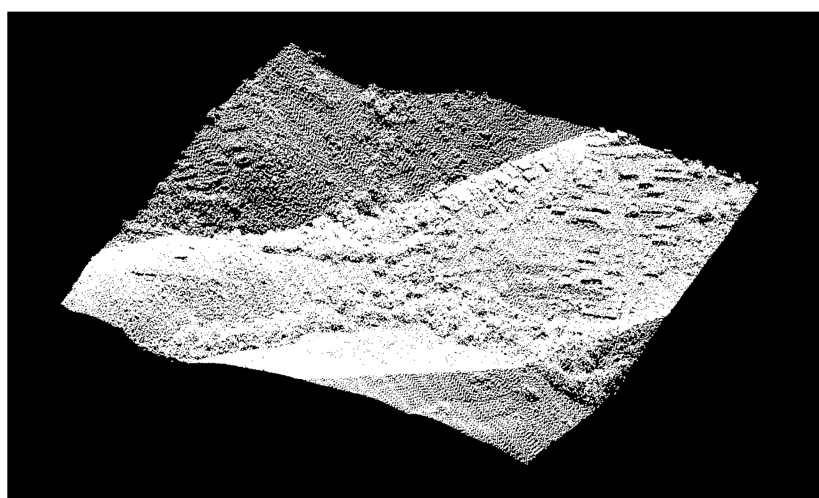


Figura 12 – Visualização da nuvem de pontos da área de estudo 1

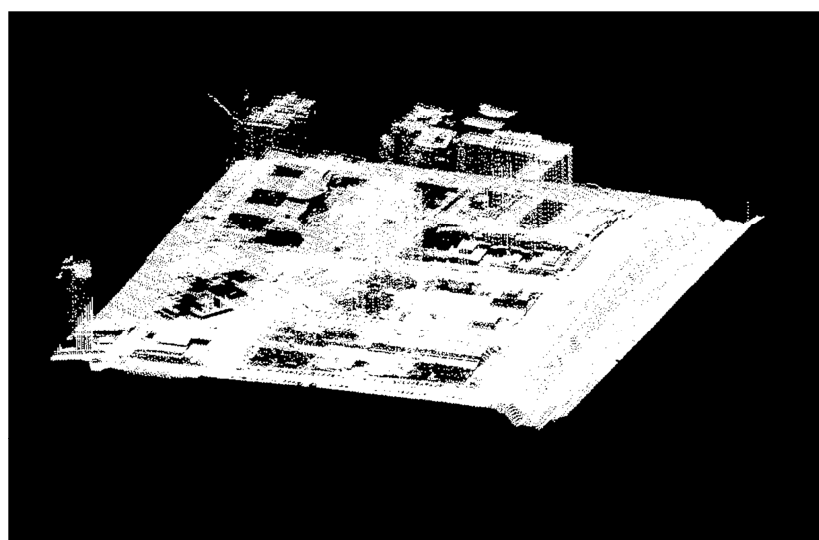


Figura 13 – Visualização da nuvem de pontos da área de estudo 2



Tabela 4 – Quantificação dos dados LiDAR

Local	Área (Km <sup>2</sup> )	Altitude mínima (m)	Altitude Máxima (m)	Número Pontos	Pontos 1° Retorno	Pontos 2° Retorno	Pontos 3° Retorno	Pontos 4° Retorno
Área 1	0,16	1086,69	1163,05	1.005.521	943.933	58.865	2.693	30
Área 2	0,09	1056,40	1188,72	552.157	541.809	10.085	255	8

### 4.3.2 Filtragem

A etapa de filtragem se dá após a aquisição e transformação dos dados brutos para o formato compatível com o Microstation.

Nesta etapa, os dados selecionados passaram por um processo de verificação aonde se buscou a eliminação de pontos considerados imprecisos, discrepantes ou fora das classes de interesse. Utilizando o módulo TerraScan através de suas rotinas *Low Point* e *Below Surface* foram determinados os pontos que seriam eliminados das próximas etapas.

A rotina *Low Point* classifica pontos que são mais baixos do que os outros pontos na vizinhança. Muitas vezes é usado para procurar pontos discrepantes que estão claramente abaixo do solo. Esta rotina basicamente compara a elevação de cada ponto com todos os outros pontos dentro de uma distância plana. Se o ponto central é claramente menor do que qualquer outro ponto então será classificado (Figura 14) (TERRASOLID, 2011).

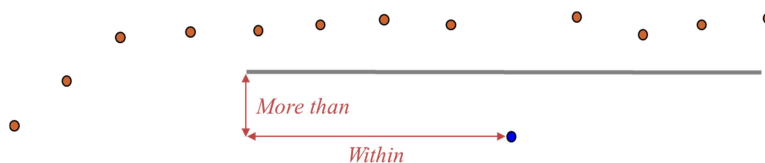


Figura 14 – Visualização da ação do algoritmo da rotina *Low Point* por ponto isolado

Em algumas situações existe a possibilidade de haver pontos errôneos agrupados que se procurados individualmente não serão detectados. Para isso, a rotina *Low Point* permite buscar por agrupamentos de pontos baixos que são inferiores aos pontos de vizinhança (Figura 15).

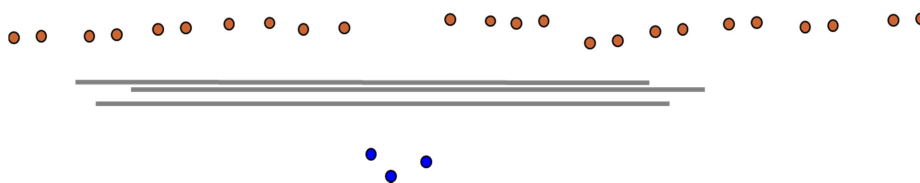


Figura 15 – Visualização da ação do algoritmo da rotina *Low Point* por agrupamento

Os parâmetros utilizados por esta rotina são:

- Forma de busca: individual ou em grupo;
- Quantidade de pontos para os casos de busca de agrupamentos;
- Diferença mínima entre os pontos; e
- Distancia plana máxima entre os pontos.

A segunda rotina, *Below Surface*, foi utilizada após a determinação da classificação dos pontos de terreno, para apontar pontos que ficaram sob os pontos classificados, retirando-os de futuras análises (Figura 16).

Segundo a Terrasolid (2011) o algoritmo para esta rotina pode ser descrito da seguinte forma:

1. Para cada ponto na classe de origem, encontrar até 25 vizinhos mais próximos na mesma classe;
2. Ajuste uma equação plana para os pontos vizinhos;
3. Se o ponto central é acima do plano ou inferior à tolerância em Z, não serão classificados;
4. Compute o desvio padrão das diferenças de elevação a partir dos pontos vizinhos ao plano; e
5. Se o ponto central é maior do que o limite definido de desvio padrão abaixo do plano, classifica-lo na classe alvo.

Para o uso da rotina é necessário definir os seguintes parâmetros de entrada:

- Limite – Limite de quantas vezes o desvio padrão de um ponto tem que ser abaixo da superfície a ser classificada; e
- Tolerância em Z – Diferença mínima de elevação do ponto abaixo da superfície a ser classificado.

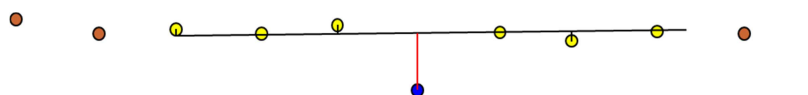


Figura 16 - Visualização da ação do algoritmo da rotina *Below Surface*

### 4.3.3 Classificação

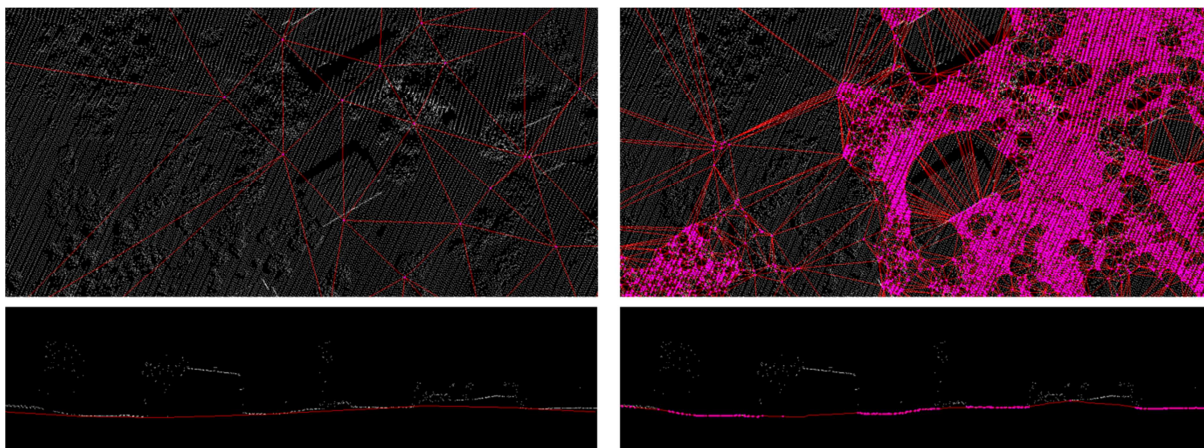
A solução da empresa Terrasolid tem rotinas bem definidas para classificar pontos. Mas isso requer entradas de parâmetros diferentes no momento do processamento. Insumos estão relacionados com a natureza do terreno e/ou geometria de características dos elementos da superfície (IITK, 2008).

Assim como na etapa de filtragem, foram testadas várias combinações de parâmetros para cada rotina. Definidos os parâmetros foram criados macros, que são a combinação de várias rotinas otimizadas para processamento em conjunto.

A classificação foi direcionada para a identificação das edificações, objeto principal deste trabalho. Assim, inicialmente foram determinados os pontos de terreno seguido dos temas que poderiam ser confundidos com os alvos principais, devido as suas distribuições planimétricas e variações altimétricas, como a vegetação e outros elementos urbanos de porte semelhante.

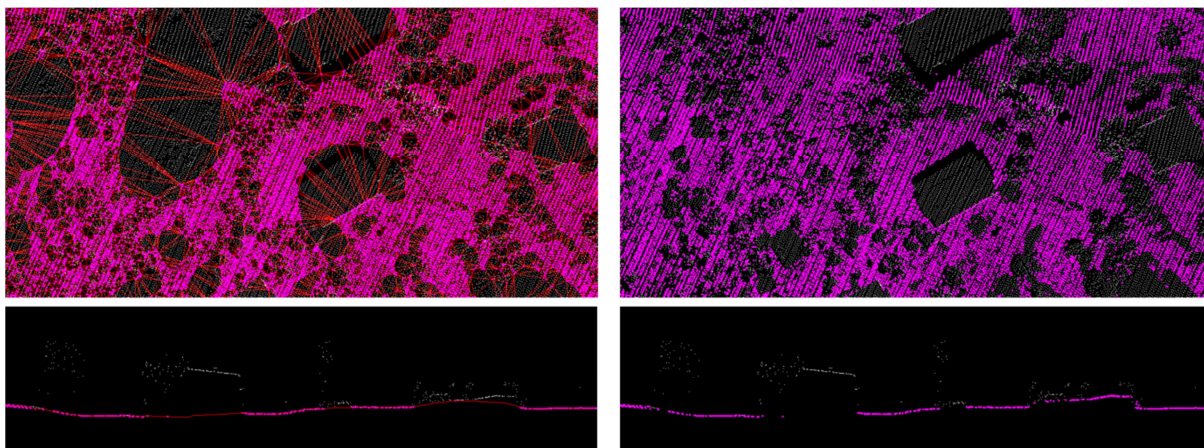
Para a classificação dos pontos de terreno, utilizou-se o módulo *Ground* do *Terrascan*. A rotina classifica pontos de solo iterativamente a partir de um modelo de superfície triangular (Figura 17).

Inicialmente a rotina seleciona alguns pontos locais baixos, gerando triângulos sob o suposto terreno, aonde apenas os vértices tocam a superfície. Tomando como parâmetro a dimensão máxima de uma edificação na área, o algoritmo assume que qualquer área abaixo desta dimensão deverá possuir ao menos um ponto que atinja o terreno, sendo este o ponto mais baixo do entorno desta área. A rotina segue adicionando pontos até que o modelo acompanhe o terreno de forma mais próxima.



1.

2.



3.

4.

Figura 17 - Visualização da ação do algoritmo da rotina *Ground*

Parâmetros de iteração determinam o quão perto de um ponto deve ser o plano triangular de modo que o ponto possa ser aceito para o modelo. Ângulo de iteração é o ângulo máximo entre o ponto, sua projeção no triângulo e o vértice mais próximo do triângulo. Distância de iteração garante que a iteração não faça grandes saltos para cima quando triângulos são grandes (Figura 18). Isso ajuda a manter edifícios baixos fora do modelo (TERRASOLID, 2011)

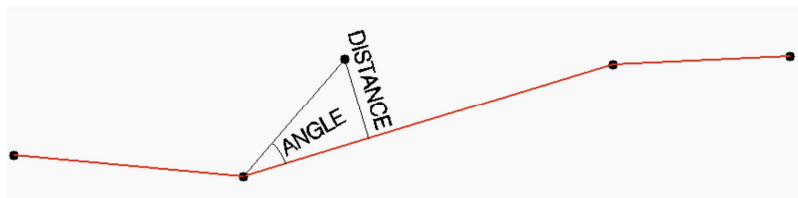


Figura 18 – Triângulo iterativo utilizado na classificação da rotina *Ground*

Além dos parâmetros descritos, a rotina *Ground* permite controlar a iteração, para evitar a adição de pontos desnecessários reduzindo a memória utilizada, da seguinte forma:

- Reduzindo o ângulo de iteração quando o lado do triângulo for menor que o definido; e
- Parando a triangulação quando cada aresta do triângulo for menor do que o comprimento definido pelo usuário.

A seguir, as figuras 19 e 20 apresentam os resultados dos pontos classificados (em marrom) nas duas áreas de estudo.

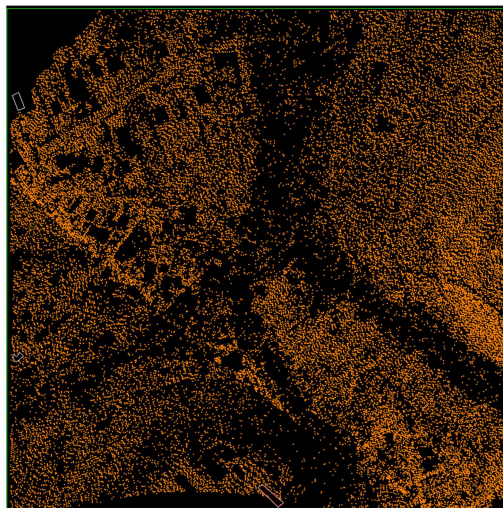


Figura 19 – Pontos classificados como terreno da área de estudo 1

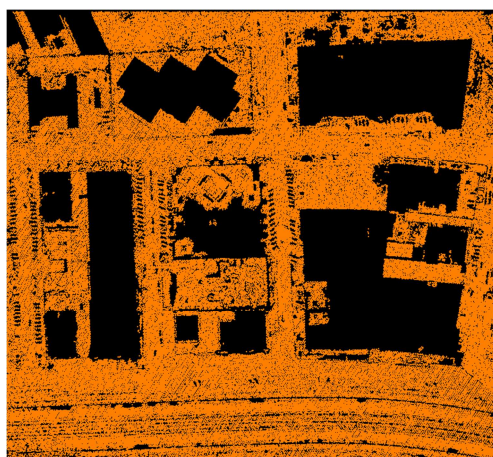


Figura 20 – Pontos classificados como terreno da área de estudo 2

Após definir os pontos de terreno, para reduzir os pontos passíveis de confusão com a classe edificações, optou-se por classificar a vegetação em três níveis: baixa, média e alta. Para isso utilizou-se a rotina *By height from ground*. Esta rotina é útil na determinação além de classes de vegetação outros elementos urbanos como linhas de transmissão.

De acordo com Terrasolid (2011) a rotina classifica pontos que estão dentro de uma faixa determinada de altura, quando em comparação com modelo de terreno. Esta rotina exige pontos de terreno classificados com sucesso. A rotina constrói um modelo de superfície triangular temporário a partir de pontos de terreno e compara com outros pontos a elevação do modelo triangular a partir dos parâmetros altura mínima e máxima.

A seguir são apresentados as Figuras 21 e 22 com os resultados das classificações das vegetações (tons de verde) das áreas de estudo.

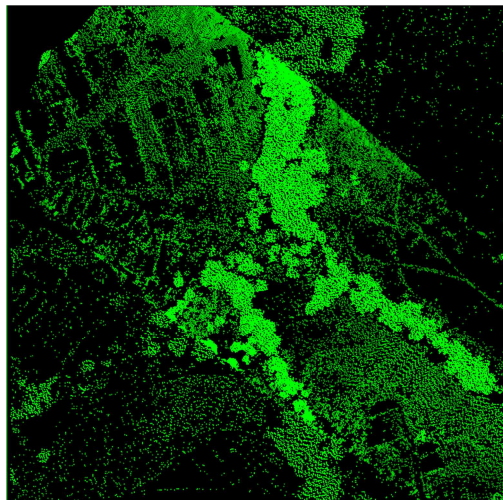


Figura 21 – Pontos classificados como vegetação da área 1

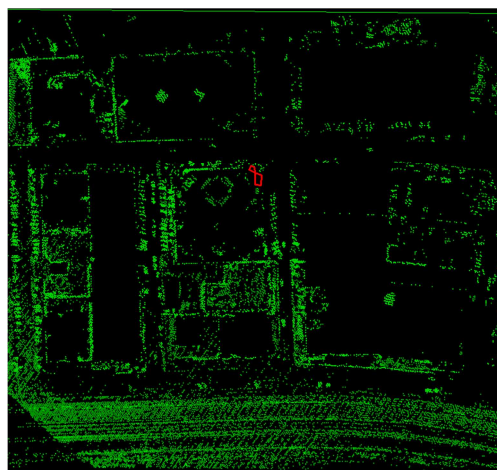


Figura 22 – Pontos classificados como vegetação da área 2

As edificações, após a classificação das classes terreno e vegetação que são utilizados como classes auxiliares, foram definidas a partir da rotina *Buildings*. Terrascan (2011) diz que o algoritmo classifica pontos de classes definidas que formam uma espécie de superfície plana. Esta rotina exige que você tenha classificado pontos de superfície anteriormente. Também é aconselhável classificar vegetação de baixo porte de modo que apenas os pontos com mais de dois metros acima do solo serão considerados como possíveis pontos de construção.

Os parâmetros de entrada utilizados na classificação de edificações são:

- Tamanho Mínimo – Menor tamanho possível para uma superfície plana; e
- Tolerância de Elevação – Precisão dos pontos laser avaliados.

Para refinar a classificação é possível utilizar a informação dos ecos dos pulsos.

A seguir são apresentadas as Figuras 23 e 24 e tabelas 5 e 6 ilustrando os resultados dessa etapa.

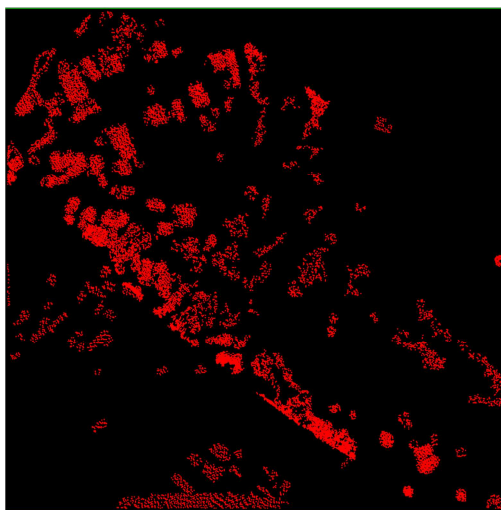


Figura 23 – Pontos classificados como edificação na área de estudo 1

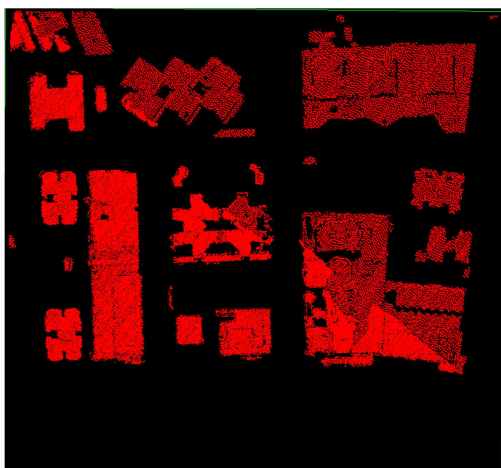


Figura 24 – Pontos classificados como edificação na área de estudo 2

Tabela 5 – Quantificação dos pontos classificados na área de estudo 1

<b>Classes</b>	<b>Número de pontos classificados</b>	<b>Percentual de pontos classificados</b>
<i>Ground</i>	192.406	19%
<i>Low Vegetation</i>	105.584	11%
<i>Medium Vegetation</i>	77.224	8%
<i>High Vegetation</i>	131.831	13%
<i>Buildings</i>	104.726	10%

Tabela 6 – Quantificação dos pontos classificados na área de estudo 2

<b>Classes</b>	<b>Número de pontos classificados</b>	<b>Percentual de pontos classificados</b>
<i>Ground</i>	193.918	35%
<i>Low Vegetation</i>	39.048	0,07%
<i>Medium Vegetation</i>	15.780	0,03%
<i>High Vegetation</i>	-	-
<i>Buildings</i>	142.604	26%

Para a área de estudo 2 optou-se por não criar o tema *High Vegetation* devido ao bom resultado com apenas duas classes de vegetação anteriores que possibilitou a separação das possíveis edificações.

#### 4.3.4 Validação

A validação dos dados utilizados foi dividida em duas etapas. A primeira levou em consideração a avaliação da qualidade posicional da variável altimétrica dos pontos. Dessa forma, foram utilizados pontos de verificação levantados em campo através de levantamento estático GNSS, conforme descrito no ítem 4.2.3.

As tabelas 7 e 8 a seguir apresentam a comparação a altimetria dos dados de campo e os dados LiDAR classificados como solo.



Tabela 7 – Comparação entre as altimetrias dos dados de campo e LiDAR

Ponto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altitude Campo	Altitude LiDAR	Diferença entre altitudes
T194	178787,901	8245507,953	1068,502	1068,49	-0,012
T194A	178639,665	8245806,484	1070,364	1070,41	0,046
PA01	178493,59	8249447,745	1088,896	1088,89	-0,006
PA01A	178059,566	8249291,796	1072,979	1072,92	-0,059
PA02	183036,284	8243955,979	1020,906	1020,94	0,034
PA02A	182886,976	8244066,296	1033,815	1033,79	-0,025
PA03	181122,721	8243778,045	1051,682	1051,77	0,088
PA03A	180877,912	8244031,406	1053,446	1053,53	0,084
PA05	177323,447	8248935,671	1082,445	1082,44	-0,005
PA05A	177586,733	8249030,143	1079,668	1079,57	-0,098
PA07	179511,69	8247598,561	1071,527	1071,48	-0,047
PA07A	179461,898	8247740,992	1073,239	1073,28	0,041

Tabela 8 – Estatísticas básicas das diferenças de altitudes

Média	0,003
Diferença Mínima	-0,098
Diferença Máxima	0,088
Desvio Médio	0,045
Erro Médio Quadrático	0,055
Desvio Padrão	0,057

Para avaliar a qualidade foi utilizado o teste de acurácia fundamental proposto pela American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) em seu guia de avaliação de altimetria de produtos derivados de dados LiDAR. O teste é realizado com pontos de verificação localizados apenas em campo aberto, onde existe uma probabilidade muito alta de que o sensor tenha detectado a superfície do solo. A acurácia fundamental é o valor pelo qual a precisão vertical pode ser equitativamente avaliada e comparada entre os conjuntos de dados diferentes (ASPRS, 2004).

$$\text{Acurácia Vertical} = 1,96 \times \text{EMQ}_{(z)}$$

A acurácia fundamental é calculada no nível de confiança de 95% em função do erro médio quadrático em  $z$ .

Dessa forma, utilizando os valores determinados na tabela 8, a acurácia vertical estimada foi 11 cm para os dados classificados como terreno. Para fins práticos e devido a falta de levantamento de outros temas admitiu-se que os pontos classificados como edificação, por possuírem características bem definidas, também possuem a acurácia vertical próxima da determinada.

A segunda parte da validação procurou avaliar a qualidade semântica dos pontos classificados como edificação. Para isso, foram utilizados os dados cartográficos como referência. Os temas relacionados a edificações foram separados em uma única camada e posteriormente foram usados como referência para cruzamento com os pontos de edificações classificados transformados em dados em 2 dimensões. Todos os processos realizados nesta fase foram realizados utilizando as ferramentas do software ArcGIS.

A validação semântica foi realizada na área de estudo 2, pois essa região apresenta sua cartografia em escala cadastral, 1:1.000, e em época compatível com o levantamento LiDAR.

Antes da aplicação das regras de topologia, os pontos classificados passaram por uma filtragem devido à incidência de pontos errôneos. Tais pontos são fruto da confusão da rotina *Building* devido a grande incidência de mata ciliar densa, gerando assim regiões que se encaixam na tolerância dos parâmetros da rotina citada. Como o objetivo deste trabalho é a modelagem semi-automática de edificações, optou-se por não reclassificar essas regiões.

Conseqüentemente foram retirados os dados que não coincidiam com a projeção plana dos modelos gerados, para então confrontar os pontos restantes com os polígonos gerados a partir dos dados restituídos. Para isso, foi usada a regra topológica *Must Be Properly Inside*, que avalia se o *layer* de pontos objeto incide dentro dos limites do *layer* de polígono gerando um relatório da operação.

Os erros apontaram que 5.178 pontos encontram-se fora dos polígonos “verdade” contabilizando 14% do total classificado.

#### **4.3.5 Modelagem**

Para obter os modelos de edificações optou-se por dois métodos. O primeiro foi a modelagem assistida através da ferramenta *Construct Building*, onde cada objeto é gerado individualmente, levando em consideração zonas com distribuição pontual que formam possíveis planos a partir dos seguintes parâmetros:

- Área mínima do plano a ser considerado como telhado;
- Tolerância vertical para a busca dos pontos; e
- Tolerância para acréscimo em busca de regiões planas adjacentes

A ferramenta então gera planos iniciais que podem ser manipulados diretamente, para obter um resultado mais fiel, a partir ferramentas que permitam a edição de seus elementos geométricos como vértices e lados.

O Quadro 2 abaixo lista as principais ferramentas utilizadas no apoio a modelagem da área de estudo 1.

Quadro 2 – Ferramentas de modelagem

<b>Planos</b>	<b>Bordas</b>
Encontrar mais planos no detalhe	Definir o tipo limite
Adicionar mais planos de construções para o conjunto detectado	Alinhar automaticamente as bordas
Espelhar um plano	Alinhar manualmente a um segmento limite
Mesclar dois planos	Inserir uma forma de contorno
Criar um grupo de direção para os planos	Modificar a forma de um limite
Adicionar um plano para o grupo	Eliminar um canto de limite
Atribui simetria plana	Eliminar o segmento de limite
Definir um bloco plano	Excluir um vértice

Na área de estudo 1, foram modelados de forma assistida cerca de 80 edificações conforme ilustrados pelas figuras 25 e 26.

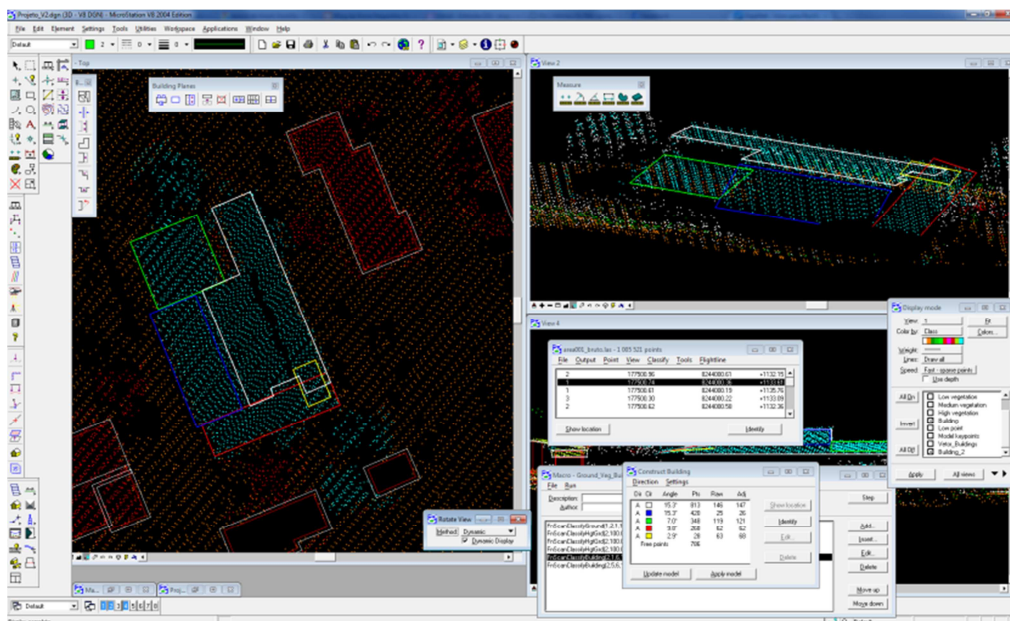


Figura 25 – Modelagem de edificação assistida

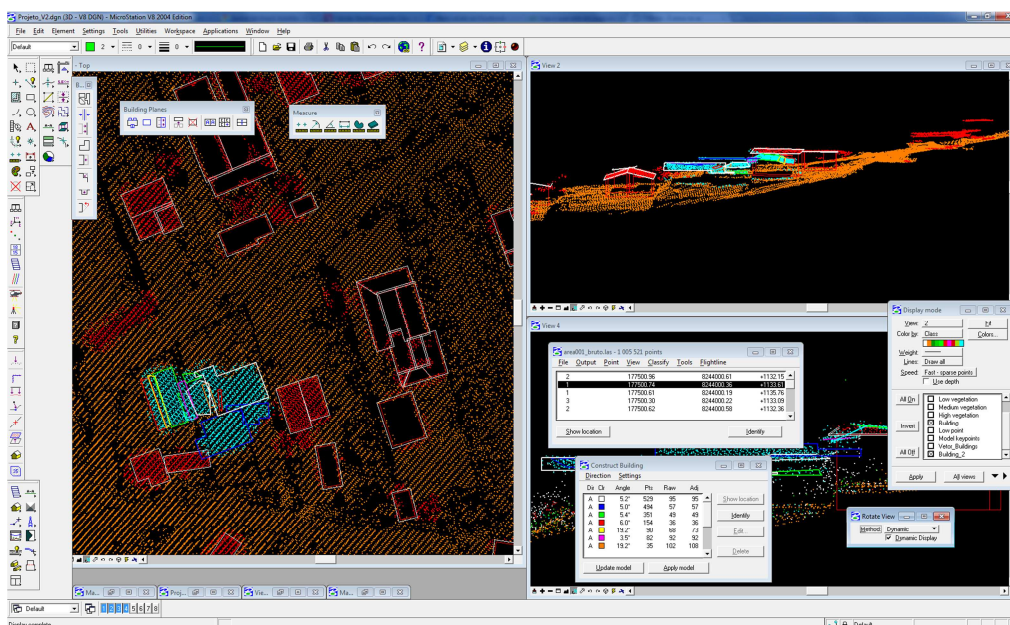


Figura 26 – Modelagem de edificação assistida

Na área de estudo 2, optou-se por gerar modelos utilizando a rotina *Vectorize Buildings* que gera os modelos de edificação de forma automática (Figura 27 e 28). Os parâmetros dessa ferramenta permitem um controle maior sobre quais padrões deverão ser aceitos como edificações, porém os modelos gerados precisam de uma revisão com ferramentas de edição nos mesmos moldes da rotina *Construct Building*.

Os parâmetros desta rotina são:

- Alcance máximo
- Tolerância planar
- Tolerância de acréscimo
- Área mínima
- Detalhe mínimo
- Declividade máxima da cobertura

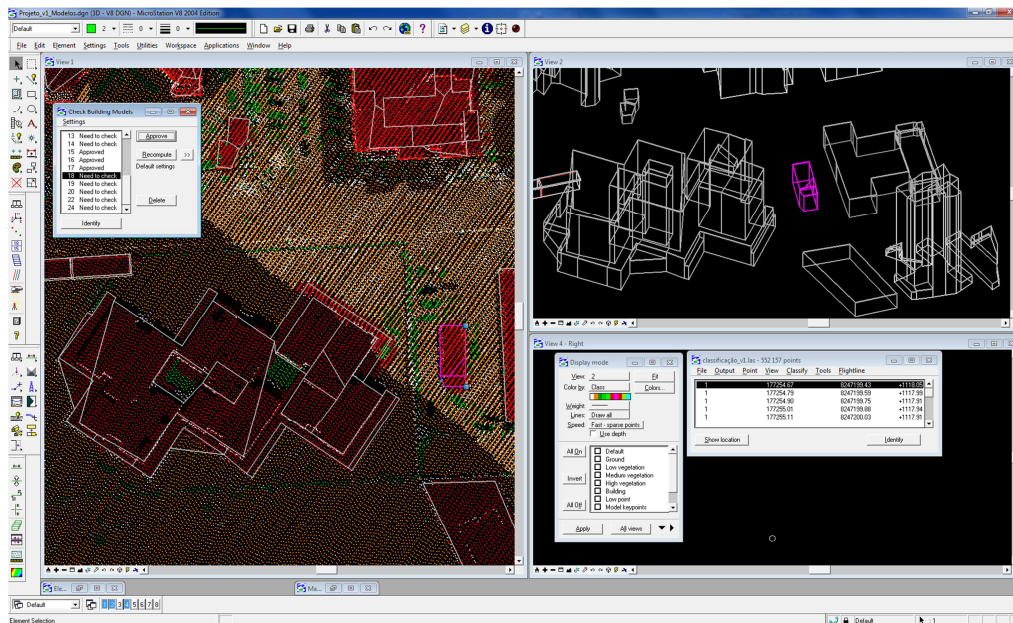


Figura 27 – Modelos de edificações da área de estudo 2

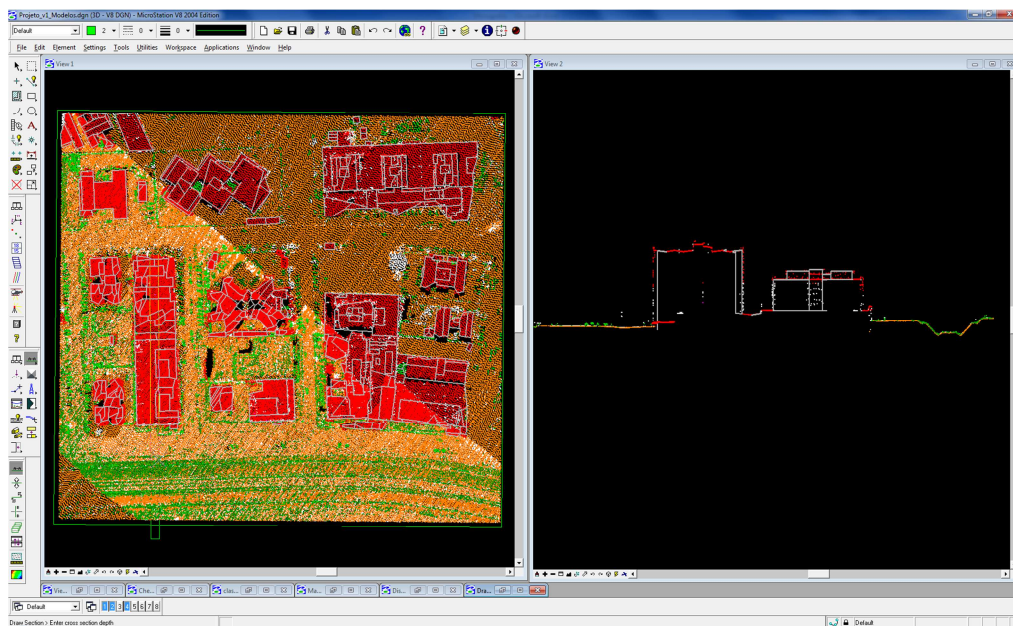
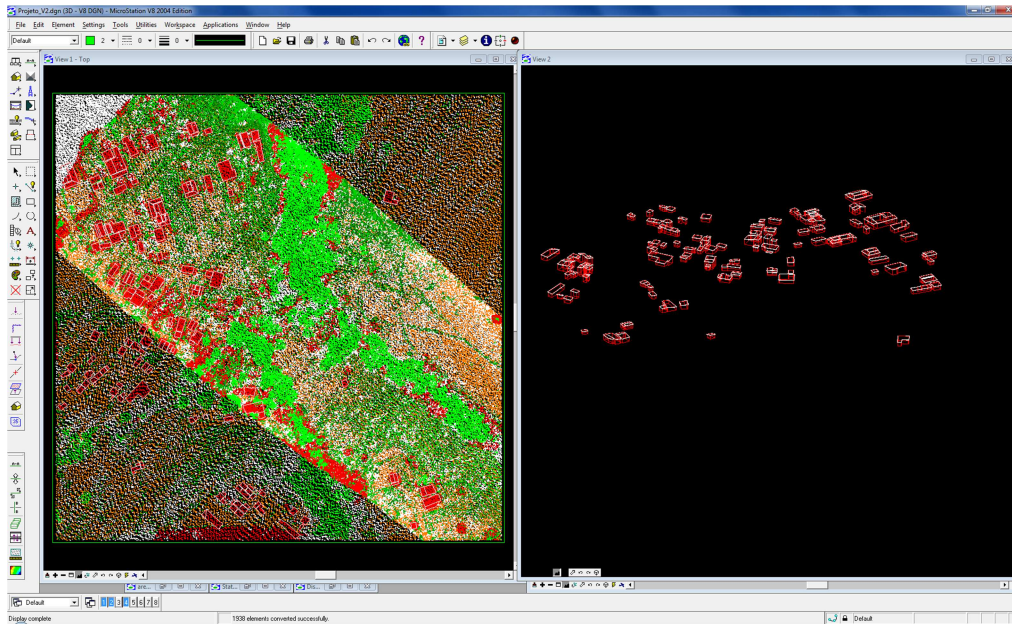


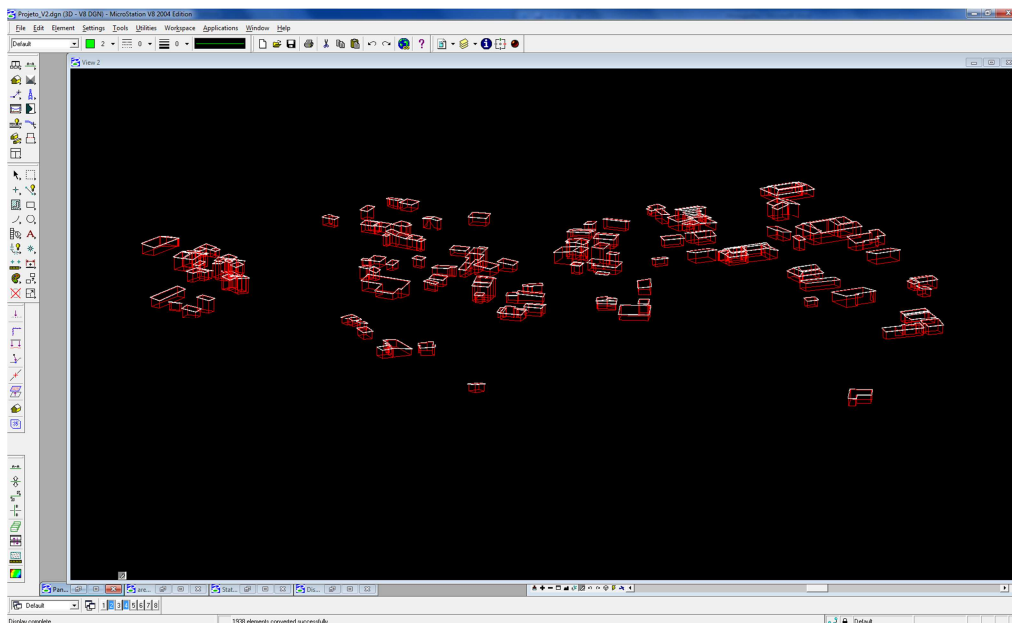
Figura 28 – Modelos de edificações da área de estudo 2

## 5 Resultados

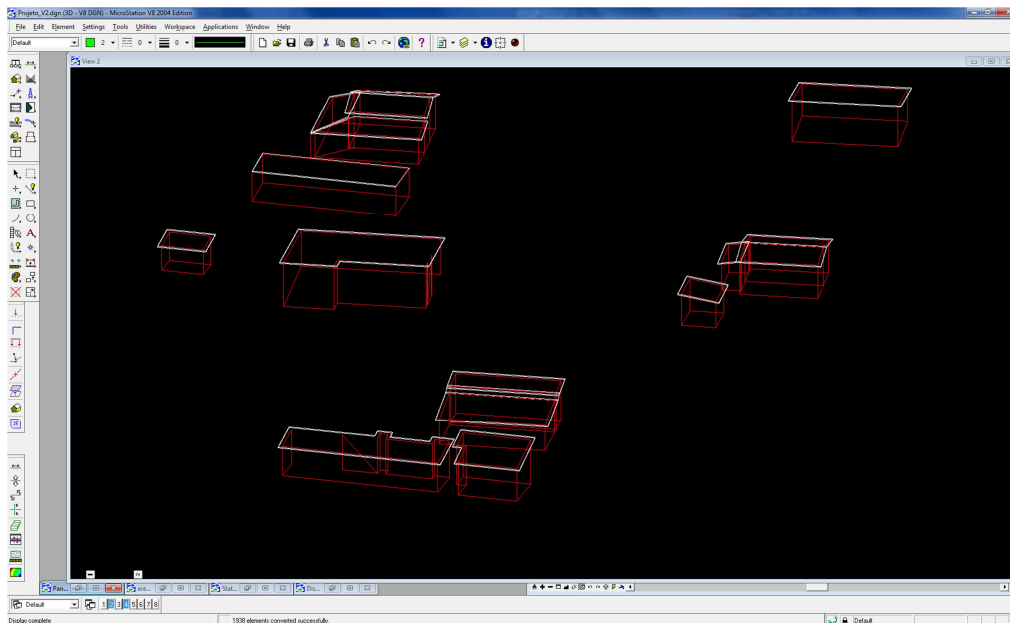
A seguir são apresentados os resultados obtidos visualizados no Microstation. As Figuras 29 (a,b,c) apresentam os modelos obtidos na área de estudo 1 por modelagem assistida. As Figuras 30 (a,b,c), apresentam exemplos dos edifícios da área de estudo 2 obtidos de forma automática sem alteração manuais em suas feições.



(a)

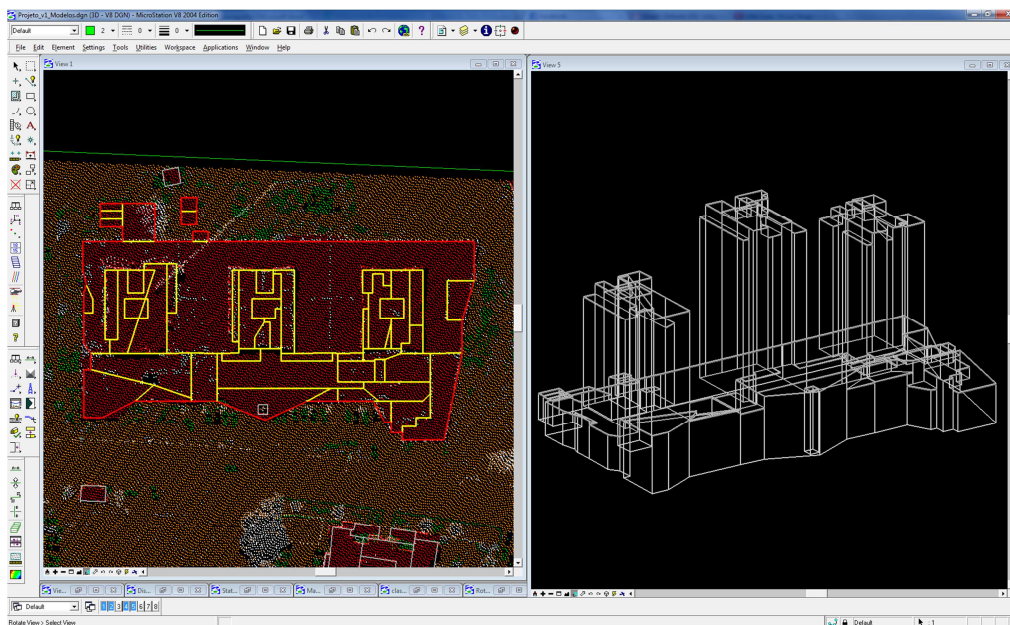


(b)

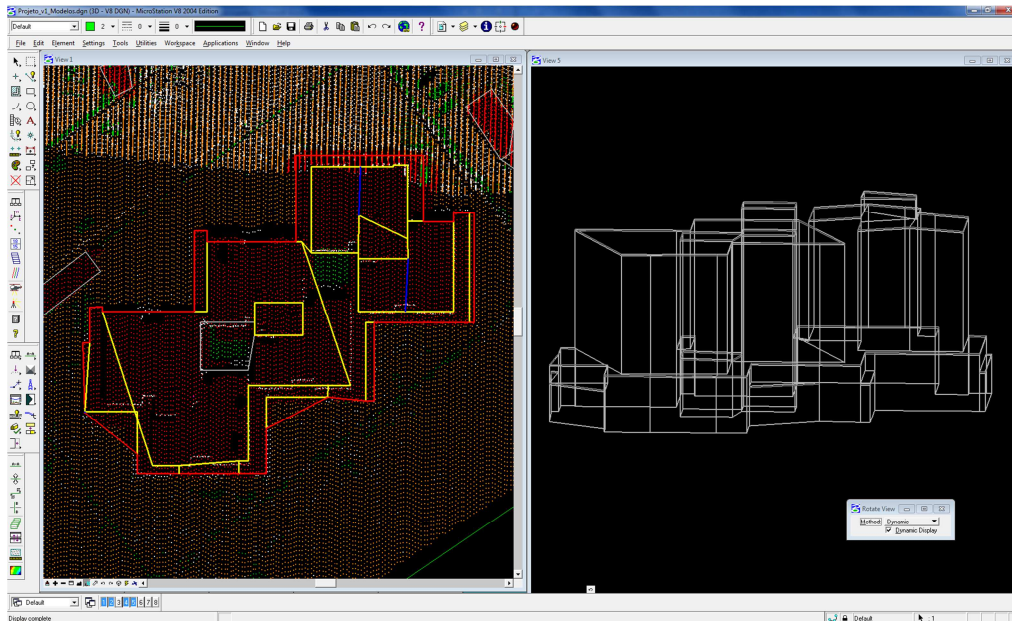


(c)

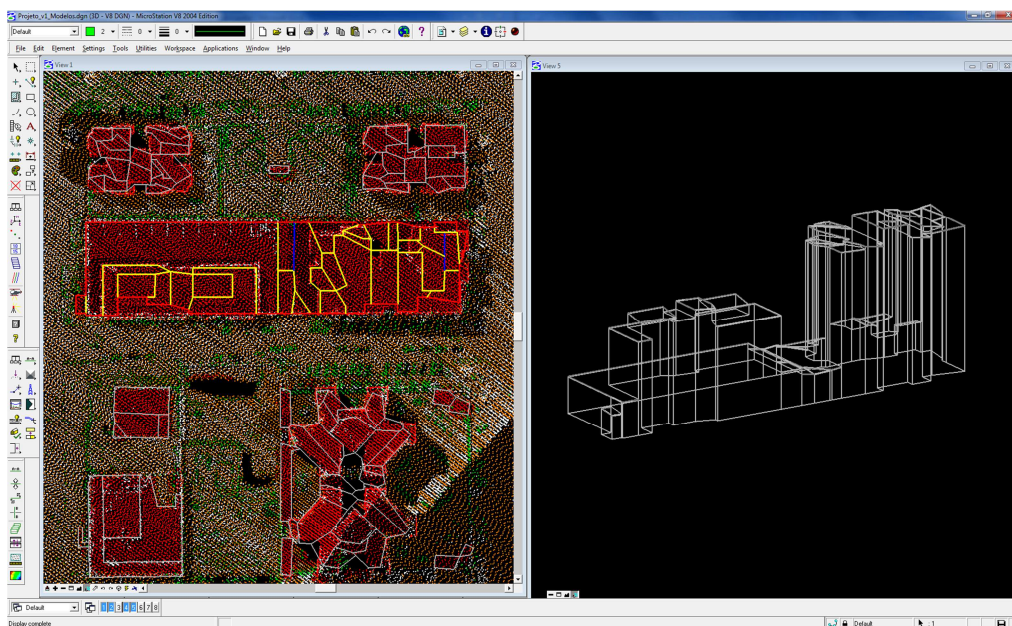
Figura 29 – Modelos de edificações da área de estudo 1



(a)



(b)



(c)

Figura 30 – Modelos de edificações da área de estudo 2

## 6 Discussões e Conclusão

Os resultados obtidos permitem afirmar que uma metodologia semi-automática na extração de edificações a partir de dados LiDAR é uma realidade. Os módulos desenvolvidos pela empresa finlandesa Terrasolid permitem gerar modelos de forma rápida e confiável em uma mesma solução computacional.



O uso de dados cartográficos e GNSS, mais precisos, para validar os resultados evidenciam a qualidade obtida no trabalho. As características da aquisição dos dados LiDAR também contribuíram de sobremaneira nos resultados. A altitude de voo em conjunto com a frequência de emissão dos pulsos laser do levantamento permitiram gerar uma nuvem de pontos densa tanto quanto precisa.

A grande densidade dos pontos utilizados, variando entre 2 a 8 pontos por m<sup>2</sup>, exigiu uma maior atenção na etapa de classificação. Para a abordagem semiautomática, é neste momento onde se separam as classes utilizadas na modelagem, onde deve-se ficar atento às limitações dos algoritmos pois dependendo da região poderão existir confusão entre temas.

Na área de estudo 1, por exemplo, houve a necessidade de edição posterior a classificação por existir a incidência de vegetação densa e de porte parecido com as edificações locais, contribuindo assim com a classificação errônea de possível telhados devido aos critérios de tolerância vertical registrarem as copas das como possíveis planos inclinados semelhantes aos telhados das construções.

Para a área de estudo 2, não houve a necessidade de edição na classificação tendo em vista que os edifícios, com porte muito maior, e a baixa incidência de grandes corredores arbóreos por se tratar de uma zona densamente urbanizada, não interferiram de forma significativa nos resultados obtidos.

Ambos os casos poderiam ser resolvidos durante a própria fase de classificação usando o auxílio de imagens orbitais ou fotografias aéreas, contudo a proposta deste trabalho foi investigar a capacidade dos algoritmos em discretizar os temas a partir de suas características geométricas e utilizando os dados semânticos apenas para a validação dos resultados.

Os modelos gerados da área de estudo 1 possuem maior proximidade com as construções reais pois foram usadas as ferramentas de ajustes disponíveis para o refinamento das formas. Tal procedimento permite gerar modelos mais realísticos, no entanto, as intervenções nos modelos gerados inicialmente, demandam uma análise criteriosa da nuvem de pontos da vizinhança de cada edificação.

As edificações obtidas na área de estudo 2 de forma automática não passaram por ajustes em suas formas, porém os resultados possuem as características geométricas muito próximas da realidade permitindo assim, de forma expedita porém precisa, sua aplicação para análises espaciais que necessitem de uma resposta rápida, sem detrimento por falta de pequenos detalhes arquitetônicos.

O trabalho buscou consolidar a revisão bibliográfica com uma metodologia prática aplicando as ferramentas encontradas no mercado de forma a otimizar a geração de modelos digitais de edificações. Nesse ponto, a solução Terrascan da empresa Terrasolid mostrou um grande potencial devido ao seu sistema estável e intuitivo de tratamento dos dados LiDAR.

A tecnologia LiDAR se mostrou adequada para estudos urbanos, permitindo a classificação das edificações mesmo em áreas com grande confusão de temas. A evolução desses sistemas apontam para a crescimento das taxas de observação e a possibilidade do registro contínuo da intensidade registrada na interação laser – alvo, expandindo assim as possibilidades da automação na extração de feições utilizando totalmente as características do laser.

No entanto o uso auxiliar de informações semânticas, qualquer que seja a fonte, ainda é de extrema utilidade, pois são dados exaustivamente testados e com metodologias definidas através dos anos. Por ser uma tecnologia considerada nova, o LiDAR carece de materiais que auxiliem na interpretação da informação qualitativa obtida através das respostas de intensidade. Dessa forma a combinação entre os de fontes diferentes ainda são o melhor caminho para a modelagem dos dados LiDAR.

## **7 Referências Bibliográficas**

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS), **ASPRS Guidelines: Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data**. Disponível

[http://www.asprs.org/society/committees/lidar/downloads/vertical\\_accuracy\\_reporting\\_lidar\\_data.pdf](http://www.asprs.org/society/committees/lidar/downloads/vertical_accuracy_reporting_lidar_data.pdf). Acesso em 15 de novembro de 2011.

BALTSAVIASS, E.P. **Airborne Laser Scanning: Basic Relations And Formulas**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, p.199–214, 1999.

CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba-PR: Ed. UFPR, 2004. 209 p.

CHEN, L.; TEO, T.; RAU, J.; LIU, J.; HSU, W. **Building Reconstruction from LIDAR Data and Aerial Imagery**. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seoul – Korea, 2005.

DEUS, L.R.; ALFAYA, F.A.V.S.; SOUZA, U.D.V.; FONSECA, L.M.G. **Detecção de Edificações em Áreas Urbanas por Meio de Classificação de Pontos LiDAR.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba – PR, 2011.

GIONGO, M.; KOEHLER, H.S.; MACHADO, S.A.; KIRCHNER, F.F.; MARCHETTI, M. Lidar: **Princípios E Aplicações Florestais.** Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.30, n. 63, p. 231-244, ago./out. 2010.

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY KANPUR, **Laboratory Manual for Lidar Data Processing, International School for LiDAR Technology,** IIT Kanpur, 2008, 122p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva Em Recursos Terrestres.** 2a ed. São José dos Campos-SP: Parêntese, 2009. 598 p.

KRAUS, K. **Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans.** 2a ed. Berlin – Alemanha: de Gruyter, 2007. 459p.

LEICA, **ALS 60 Product Specification.** Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=10326>. Acesso 13 de novembro de 2011.

OLIVEIRA, E.F. **E-Cidade.** Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/e-cidades/> > Acesso: 20 de fevereiro de 2011.

PFEIFER, N.; BRIESE, C **Aspects of Airbone Laser Scanning and Terrestrial Laser Scannig.** ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilverLaser 2007, Espoo - Finlândia, 2007

RIBEIRO, S.R.A.; SANTOS, D.R.; CENTENO, J.S. **Aplicação Da Metodologia De Dados Orientado A Objeto Na Classificação De Uma Área Urbanizada, Utilizando Uma Imagem Digital Obtida Por Meio Da Tecnologia Do Laser Scanner.** Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente – SP, 2002

ROTTENSTEINER, F.; BRIESE, C. **Automated Building Extraction and Reconstruction from LiDAR Data.** Disponível em <http://www.icrest.missouri.edu/Projects/NASA/FeatureExtraction-Buildings/Building%20Extraction.pdf> Acesso: 23 de outubro de 2011

SANTOS, G.M.; BASTOS, B.C.; MACIEL, A.O.; DITZEL, T.G. **Detecção Automática de Contornos de Edificações a Partir de Dados LiDAR.** . Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba – PR, 2011.

TERRASOLID, **TerraScan User's Guide.** Disponível em: [http://www.terrasolid.fi/en/users\\_guide/terrascan\\_users\\_guide](http://www.terrasolid.fi/en/users_guide/terrascan_users_guide). Acesso em 20 de novembro de 2011.

TOHT, C.; **The State-of-the Art in Airborne Data Collection Systems – Focused on LiDAR and Optical Imagery. Photogrammetric Week,** Stuttgart – Alemanha, 2009

WANG, C.; **Laser Scanning, Theory and Applications.** Rijeka – Croácia, InTech, 2011.566 p.