

Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR

Jorge Antonio Silva Centeno
Edson Aparecido Mitishita

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Caixa Postal 19.001 81.531-990 Curitiba, Paraná, Brasil
{centeno} , {mitishita} @ufpr.br

Abstract. Laser scanner technology is being introduced in Brazil and its use spreading and becoming familiar to the surveying community. The availability of such data in Curitiba turned it possible for the Geodesy Graduate Program at the Federal University of the Paraná (UFPR) to develop research on this topic. This paper presents a summary of the results of the research developed at the Photogrammetry and Remote Sensing laboratory of the Federal University of the Paraná and its experience in the use of altimetric data from airborne laser scanner in urban environments.

Palavras-chave: laser scanner, áreas urbanas, Modelagem 3D. 3D Modeling, Urban areas.

1. Introdução

Nos últimos dez anos, o mercado de levantamentos no Brasil experimentou o efeito do surgimento de uma nova ferramenta, a varredura a laser. O grupo de pesquisadores da Área de pesquisa em Fotogrametria e Sensoriamento Remoto do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR dedicou grandes esforços a este tema, acompanhando a tendência mundial. O artigo apresenta um resumo dos resultados das principais pesquisas desenvolvidas no laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Paraná no uso de dados altimétricos obtidos com laser scanner em ambientes urbanos.

2. Laser scanning

O sistema de varredura laser (*laser scanning*) aerotransportado é um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como também o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno, que é usado para calcular a distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz (Baltsavias, 1999). Com base na distância entre o sensor e a superfície da terra e a orientação do raio, é determinada a posição tridimensional do local de onde o raio é refletido. Como a varredura é efetuada a partir da aeronave, junto com a superfície do terreno outros objetos acima da mesma, como a copa das árvores e telhados, são medidos. Estes tipos de sistemas também são chamados de LIDAR (Light Detection And Ranging).

Para o cálculo da posição de cada ponto, o instrumento registra, além do tempo, a orientação do sensor no instante da emissão/registro do pulso e a posição exata da aeronave que carrega o sensor. Por este motivo, o laser scanner aerotransportado necessita de unidades auxiliares para obter estes dados complementares. O sistema de varredura laser pode ser então dividido em três componentes principais: a unidade de medição a laser, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura e uma unidade de registro de medições de apoio. O conjunto de medições de apoio, os dados do IMU e do GPS diferencial são medidos e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema laser. Numa etapa posterior, as séries de dados coletados são sincronizadas e a posição exata de cada ponto

calculada. A determinação da distância pode se efetuada com precisão menor a 10 centímetros, mas a precisão da determinação da posição do ponto depende do desempenho dos sistemas de apoio. Tipicamente, precisão planimétrica da ordem de 50 centímetros é encontrada, enquanto a precisão altimétrica está na ordem de 10 a 15 centímetros.

3. Geração de modelos do terreno em áreas urbanas

O conjunto de medições constitui uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais distribuídos de forma irregular na superfície do terreno, segundo o padrão de varredura. Este conjunto pode ser tratado de duas formas: como dados vetoriais, ou como transformado ao formato raster e ser processado como uma grade regular. A segunda opção é geralmente mais adotada, pois implica na redução significativa da quantidade de dados.

Como o feixe emitido na direção da superfície da Terra não atinge apenas a superfície do terreno, mas pode atingir outros objetos, como prédios ou árvores, ele pode ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasiona um retorno mais rápido. Já o ponto mais distante origina um retorno mais demorado (**Figura 1a**). Alguns sistemas podem medir diferentes retornos do sinal emitido, refletido por diferentes objetos dentro da projeção do feixe no terreno (*footprint*). É possível medir o primeiro e o último retorno do pulso (*first/last pulse*), ou até pode-se medir toda a variação do retorno, se for necessário.

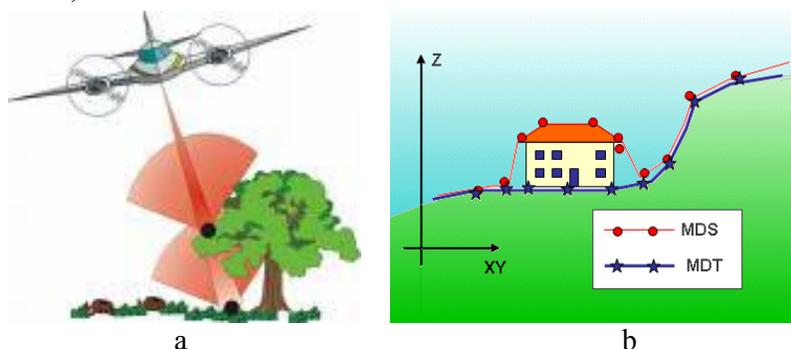


Figura 1: a) Primeiro e último retorno (adaptado de Toposys, 2001); b) diferença entre MDT e MDS.

A separação de primeiro e último retorno permite identificar alguns pontos que penetram, por exemplo, em florestas. Porém, em áreas urbanas, grande parte dos pulsos provoca apenas um retorno, pois as superfícies, como telhados, são sólidas. O problema central, na produção de modelos digitais do terreno em áreas urbanas, é separar os pontos correspondentes ao terreno daqueles originados em construções e árvores. Na literatura encontram-se descritas diferentes alternativas para a solução deste problema (FILTROS, LITERA). A maior parte desses métodos se baseia na identificação de pontos afastados do terreno em função da declividade local, continuidade da superfície ou da distância do ponto a um plano de referência que corresponderia ao terreno. Por exemplo, o método conhecido como do “bloco mínimo” pesquisa uma região, procurando pelo menor ponto, que supostamente corresponde ao terreno. A altura dos outros pontos nesta região é comparada com o valor mínimo. Pontos com distâncias muito elevadas são considerados árvores ou prédios e são removidos. A figura 2 mostra um exemplo da remoção de pontos, numa região do Centro Politécnico da UFPR, usando este método (Assunção et al., 2007)

Após a classificação, dois conjuntos de pontos encontram-se disponíveis, os do terreno e os associados a outros objetos. Por este motivo, dois conceitos são reconhecidos quanto aos modelos que podem ser produzidos. Quando os dados se referem aos pontos que atingiram o terreno, fala-se em modelo digital do terreno (MDT). Já quando o modelo inclui, além do

terreno, os objetos a ele superpostos, fala-se em Modelo Digital da Superfície (MDS). A diferença é ilustrada na **figura 1b**.

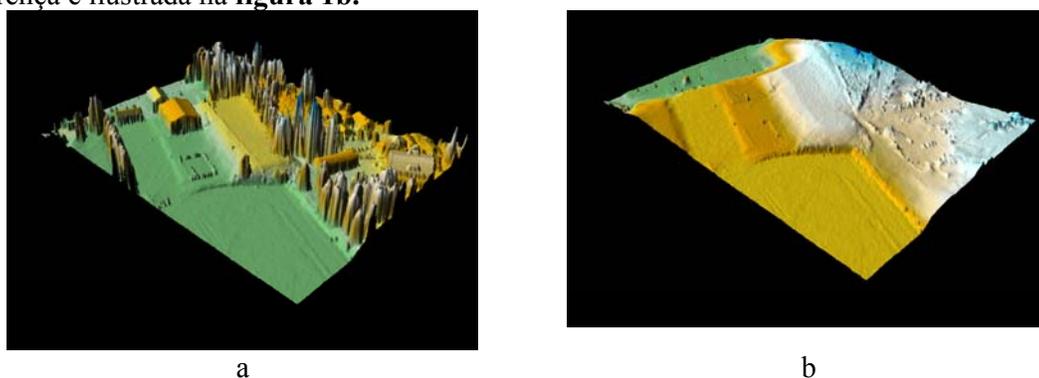


Figura 2 – Exemplo de Eliminação de vegetação e construções (Assunção et al., 2007)

Para a produção de um modelo digital, os pontos classificados podem ser interligados para formar uma grade TIN, ou servir de entrada no processo de interpolação para a geração de uma grade regular. Experimentos (Botelho, Schoeninger e Centeno, 2005) comprovam que a escolha do interpolador é, neste caso, determinante. Muitos algoritmos de interpolação foram concebidos para o uso com base em levantamentos esparsos e pouco densos. O conjunto de dados laser scanner, pelo contrário, é caracterizado por uma alta densidade, motivo pelo qual existe pouca necessidade de interpolar valores. A interpolação, por outro lado, pode degradar os dados, suavizando as bordas dos objetos presentes em um MDS. Existem duas situações nas quais é necessário interpolar dados: Em regiões de “sombra” ou oclusão, causadas pelo ângulo de visada do sensor. Isto geralmente ocorre devido à baixa altura de voo e a presença de objetos altos, algo muito comum em áreas urbanas. A outra situação é quando a o levantamento foi efetuado com espaçamento muito maior do que a resolução da grade pretendida.

Araki (2005) descreve uma maneira de gerar um modelo digital que preserve ao máximo os valores originais e, com isso, as bordas. Primeiro, uma grade vazia é produzida. A seguir, a posição de cada ponto do levantamento dentro da grade é calculada e o ponto representado dentro da grade. Caso mais de um ponto ocorra na mesma célula, o menor valor é adotado. Finalmente, os espaços vazios são preenchidos utilizando ferramentas de morfologia matemática. Produto obtido apresenta as bordas melhor definidas e elimina a presença de sombras. As regiões de oclusão muito grandes são preenchidas, geralmente, com o valor mínimo da vizinhança. A **figura 3** mostra um resultado deste processo.

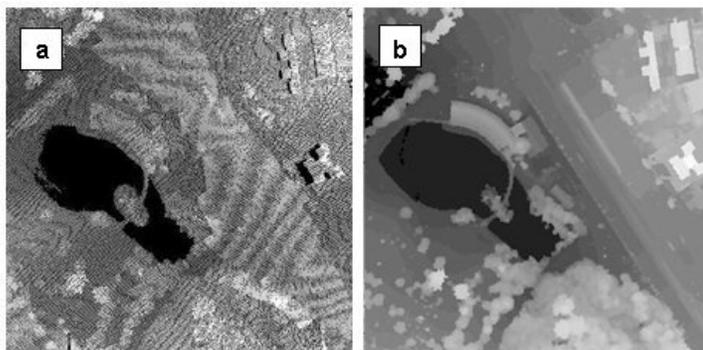


Figura 3 – Grade altimétrica: a) bruta; b) após preenchimento de lacunas (Araki., 2005).

Após a interpolação das grades do MDT e do MDS, uma terceira grade pode ser derivada calculando a diferença entre o MDS e o MDT. Trata-se, neste caso, de uma grade que contém apenas os objetos acima do terreno. Esta grade é chamada, na literatura (Weidner e Förstner, 1995) de modelo digital de superfície normalizado ou MDSn. Neste modelo, apenas a altura dos objetos acima do terreno é representada, o que simplifica a análise. Em regiões de relevo acentuado, pontos do terreno e pontos no telhado de um prédio podem ter a mesma coordenada Z na grade. Após a normalização, o efeito do terreno é eliminado. A vantagem do uso do modelo normalizado no estudo de áreas urbanas é que o mesmo permite obter diretamente a altura das construções. A figura 4 mostra um exemplo de um modelo normalizado em perspectiva.

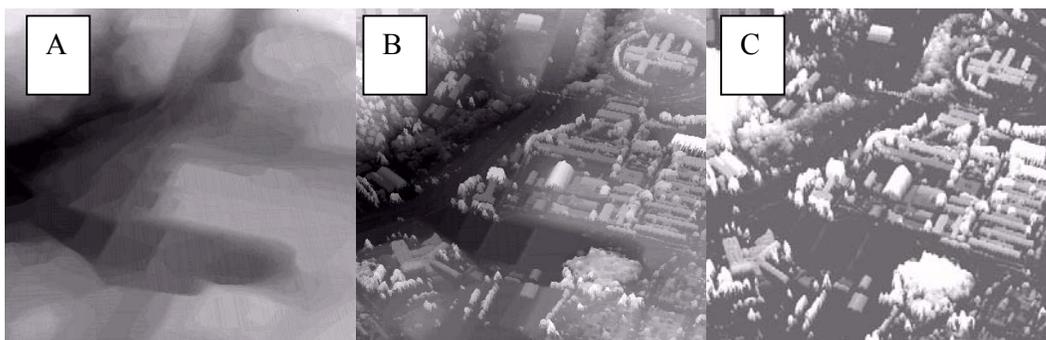


Figura 5 - a) modelo digital de elevação; b) modelo digital de superfície; c) modelo digital de superfície normalizado (Araki, 2005).

4. Integração laser scanner e sensores ópticos

A classificação de pontos apenas considerando sua altura não é suficiente para identificar prédios, pois existem, num ambiente urbano, outros objetos com altura igual ou superior, como árvores. A principal dificuldade na identificação de construções reside em excluir a vegetação. Usando somente os dados do laser scanner, esta tarefa é difícil e muitas vezes impossível, sem ajuda de dados auxiliares. A solução mais interessante, e a tendência verificada no uso de laser scanner em áreas urbanas, é a integração de dados altimétricos com informações espectrais derivadas de fotografias aéreas ou imagens de satélites de alta resolução espacial, como IKONOS II ou Quickbird. Deve se levar em consideração, neste contexto, a resolução espacial dos sensores e as características das imagens. Os levantamentos laser scanner apresentam alta densidade de pontos, com uma resolução espacial em torno de 50 cm. As imagens orbitais têm resolução espacial inferior e cobrem o visível e o infravermelho próximo. No caso da imagem Quickbird, a resolução espacial é quase compatível. Já o Ikonos II pode chegar ao dobro. As fotografias aéreas, por outro lado, oferecem resolução espacial superior, na ordem de 20cm, porém geralmente com dados que cobrem apenas a faixa do espectro visível. Os dados do laser scanner se encontram em uma projeção ortogonal, enquanto as imagens sofrem o efeito da projeção central.

Para atingir a eficiente integração dos dados, é necessário efetuar uma correção geométrica que leve em consideração a altura dos prédios e a vegetação, além do terreno. Trata-se, neste caso, da produção de uma *true-ortofoto* com base na grade altimétrica derivada do levantamento laser scanner. Como os parâmetros da orientação interior do sensor não se encontram geralmente disponíveis, soluções baseadas nos dados altimétricos e pontos nas imagens são mais aplicadas. Araki (2005) descreve um processo para a correção geométrica da imagem que elimina o problema do rebatimento das construções em função de sua altura e facilita a integração dos dados altimétricos e espectrais numa base geométrica comum. A **figura 4** mostra um recorte do resultado da correção geométrica, com o uso da transformação

projetiva aplicada a uma imagem Quickbird. O autor aponta que um resultado equivalente pode ser obtido com a transformação baseada na razão de polinômios de primeiro grau.

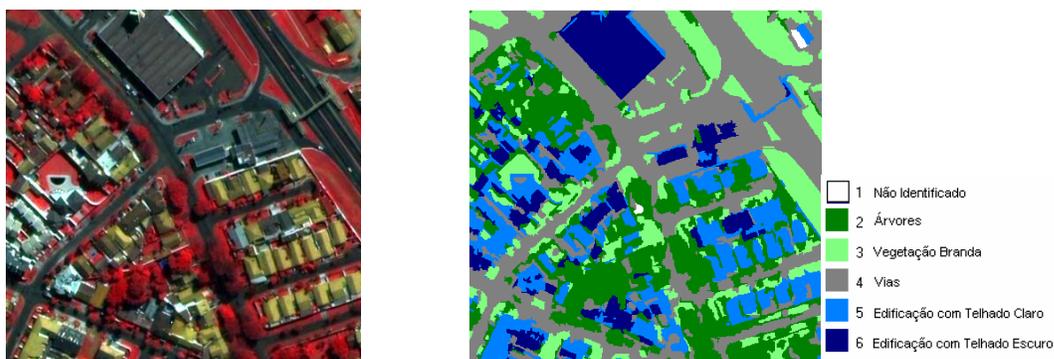


Figura 4- Correção geométrica de imagem Quickbird com a transformação projetiva e dados laser scanner: a) original; v) ortofoto (Araki, 2005).

A análise do conjunto de dados pode ser efetuada utilizando o pixel como unidade ou na base de segmentos. A primeira opção é mais simples, pois segue a linha dos classificadores tradicionais. Porém existem restrições quanto à aplicabilidade de métodos estatísticos, pois deve ser sempre verificado se a altura dos prédios segue uma distribuição normal para, por exemplo, aplicar o método da máxima verossimilhança Gaussiana.

Uma opção que dispensa a hipótese de normalidade é a aplicação de redes neurais artificiais. Neste caso, um pixel de uma imagem são descritos pelos seus atributos espectrais e pela altura em relação ao terreno. A abordagem permite, em função das diferenças espectrais entre vegetação e telhados, principalmente no infra-vermelho próximo, separar estas classes. Outra possibilidade é classificar os dados usando uma abordagem de classificação baseada em sistemas de regras, como descrito em Araki (2005). Estas experiências são exemplos de métodos de inteligência artificial aplicados à análise de imagens.

Os mesmos princípios podem ser aplicados dentro de um esquema de classificação baseado em regiões. Em Botelho e Centeno (2004) é descrito um experimento que utiliza a segmentação para a obtenção de regiões uniformes que posteriormente são classificadas com redes neurais artificiais. Um recorte do resultado é visto na **figura 5**. O uso de um sistema de classificação por regiões baseado em regras se popularizou através do programa comercial eCognition da firma Definiens (Batz e Schäpe, 2000). Neste caso, a imagem pode ser segmentada em vários níveis de generalização, levando em consideração aspectos espectrais e espaciais, como a compacidade dos segmentos resultantes ou a suavidade de seus contornos. Na fase de classificação, atributos espaciais e espectrais são escolhidos para descrever as classes. A classificação é executada aproveitando a informação dos diferentes níveis de segmentação, através de uma rede semântica de classificação. Exemplos da aplicação desta solução são descritos em Miquel e Centeno (2004) e Karsenty (2005). Nestes experimentos, que utilizaram imagens Quickbird junto com dados de laser scanner, é mostrado como a segmentação multiresolução permite delimitar as bordas dos objetos, reduzindo com isso erros na fase de classificação. Porém, é verificado também que os erros de segmentação não podem ser corrigidos nas fases posteriores. Ou seja, o sucesso da identificação de construções é altamente dependente da correta delimitação de seus contornos.



(a) Imagem Original

(a) Imagem classificada

Figura 5 – Classificação de imagem Quickbird e laser scanner (Botelho e Centeno, 2005).

Estes estudos também mostram a limitação imposta pela ainda baixa resolução espacial das imagens orbitais e do levantamento a laser, em comparação com o tamanho dos objetos. A identificação e delimitação de construções de grande porte são feitas com sucesso. Já quando se trata de pequenas construções, como residências agrupadas em quadras, a obtenção de polígonos que descrevam cada construção é prejudicada. Por um lado, o relativamente grande espaçamento dos pontos da varredura a laser no terreno em relação ao tamanho dos telhados dificulta a correta identificação de suas fronteiras. A varredura a laser é feita de forma sistemática, não são procurados pontos ou feições de interesse no telhado e no solo. Assim, dificilmente todos os pulsos atingem a borda. Outro fator limitante é a ocorrência de construções formando blocos, o que dificulta a identificação de cada residência. Quando a construção ocorre de forma isolada, sua detecção e delimitação são possíveis. Já quando ocorrem agrupamentos, como, por exemplo, construções geminadas, torna-se difícil separar cada unidade, pois todas elas apresentam a mesma altura e forma de telhado.

Utilizando fotografias aéreas em lugar de imagens orbitais, o grau de detalhe espacial pode ser aumentado, o que contribui para a melhor definição das bordas dos telhados. No estudo de Machado (2005), fotografias aéreas obtidas com uma câmara de pequeno formato foram utilizadas conjuntamente com dados de laser scanner aerotransportado visando a atualização cartográfica em áreas urbanas. Neste caso, a correção das fotografias aéreas pode ser efetuada com base nos parâmetros da orientação interior do equipamento e com ajuda de pontos de apoio fotogramétricos distribuídos na área de estudo. O método apresentado por Machado (2005) se baseia na segmentação da fotografia, onde os telhados são melhor definidos, com a finalidade de detectar regiões uniformes. Estas regiões são depois analisadas quanto a as cor e altura, utilizando os dados do laser scanner. Na última etapa, os contornos dos segmentos são suavizados para representar as construções.



a) Segmentação



b) polígonos após a vetorização

Figura 6 – Delimitação de prédios usando laser scanner e fotografias aéreas (Machado, 2005).

A informação altimétrica também contribui de maneira significativa na monorrestituição digital de fotografias ou dados orbitais em áreas urbanas. Uma das principais restrições para a aplicação da monorrestituição em áreas urbanas é a carência de um modelo digital contendo os prédios a serem restituídos, limitação superada com a varredura a laser. O procedimento semi-automático de restituição monocular, empregado para a obtenção vetorial de edificações em regiões urbanas a partir da integração de imagens aerofotogramétricas e dados laser scanner pode ser visto em Mitishita et al (2005). O processo consiste numa primeira fase a seleção de pontos laser, definidores das bordas das edificações, conforme apresentado na **figura 7a**. Na segunda fase as bordas das edificações são restituídas manualmente com um sistema CAD (**figura 7b**) e na terceira fase, a arquivo vetorial referente das edificações (**figura 7c**) e obtido com base nos dados laser, a digitalização e transformações matemáticas.



Figura 7-a – Pontos laser definidores de bordas das edificações



Figura 7.b – Digitalização manual das edificações

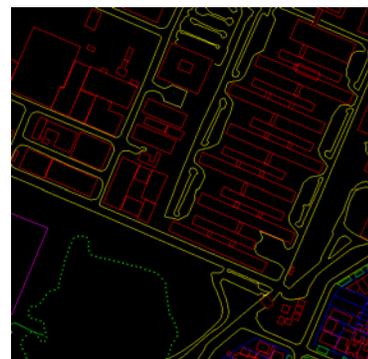


Figura 7.c – Base vetorial obtida na restituição

5. Comentários finais

A utilização da varredura a laser em ambientes urbanos oferece grandes vantagens para a obtenção de informações a respeito das construções. A maior vantagem é que os dados, de natureza geométrica, são complementares aos dados espectrais, tradicionalmente empregados no sensoriamento remoto. Também, o resultado da varredura é um conjunto de pontos dentro de um sistema com projeção ortogonal.

A análise exclusiva de imagens não inclui a altura dos objetos, a não ser que seja pelo uso de pares estereoscópicos. Com a ajuda dos dados altimétricos, a terceira dimensão pode ser integrada na análise. Isto facilita, por exemplo, discriminar telhados de outros tipos de superfícies, com o mesmo material, mas localizadas no nível do chão, como pavimentos.

A plena utilização de laser scanner ainda esbarra em fatores limitantes, como a resolução espacial da varredura. Existe a expectativa, porém, de que este fator seja superado com o desenvolvimento de varredores mais eficientes, assim como também é esperado que novos sensores orbitais, com maior resolução espacial, sejam comercialmente disponibilizados e que novas câmaras digitais, com maior capacidade, possam ser utilizadas.

Referências

Araki, H. Fusão de informações espectrais, altimétrica e de dados auxiliares na classificação de imagens de alta resolução espacial (2005). 210p. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.

Assunção, M.G.T.; Botelho, M.F.; Centeno, J.A.S.; Pacheco, A.P. Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de modelo digital do terreno. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), XIII., 2007, Florianópolis. Submetido. Anais... São José dos Campos: INPE, (submetido, aguardando aprovação) 2007.

Baatz, M. ; Schäpe, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation; **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII**, Ed. Herbert Wichmann, Karlsruhe, p 12-23. 2000.

Botelho, M.F.; Centeno, J.A.S.. Identificação de edificações presentes em imagem de alta resolução utilizando redes neurais e dados do laser scanner. In: I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - SIMGEO, 2004, Recife. Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - SIMGEO. Recife: 2004. v. 1, p. 1-9.

Botelho, M.F.; Schoeningher, E.R.; Centeno, J.A.S. Comparação dos resultados de interpoladores vizinho mais próximo e inverso de uma distância no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), XII., 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005.. p. 731-736.

Botelho, M.F. e Centeno. J.A.S. Uso integrado de imagem de alta resolução espacial e altura derivada do laser scanner na escolha do classificador orientado a região. Boletim de Ciências Geodésicas, Vol. 11, No 1 (2005). **Boletim de Ciências Geodésicas**, Vol. 11, No 1, 2005.

Karsenty, A. Classification orientee objet de la permeabilite des sols en zones urbaines a l'aide d'imagerie tres haute resolution et donnees Laser Scanner a Curitiba. XYZ magazine. Editée par l'association Française de Topographie. Vol.102. Março 2005.

Machado, A.M.L. **Extração automática de contornos de edificações utilizando imagem gerada por câmara digital de pequeno formato e dados LIDAR**. (2005). 206p. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.

Miqueles, M.A.; Centeno, J.A.S. Extraction of buildings in Brazilian urban environments using high resolution remote sensing imagery and laser scanner data. XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul.

Mitishita, E. A.; Machado, A. M. L.; Habib, A.F.; Gonçalves., G. A. **3D Monocular Restitution Applied to Small Format Digital Airphoto and Laser Scanner Data**. In: XXTH CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ISPRS), 2004, Istanbul. **THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES**. 2004. v. XXXV.

Weidner, U.; Förstner, W., 1995. Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** vol. 50 nr.4, pp. 38–49. Elsevier Science.