

**IDENTIFICAÇÃO DE PRÉDIOS A
PARTIR DE DADOS ALTIMÉTRICOS OBTIDOS COM LASER SCANNER**

Jorge Silva Centeno
Departamento de Geomática –UFPR
C.P. 19001 - Centro Politécnico - 81.531.990 Curitiba
centeno@geoc.ufpr.br

IDENTIFICAÇÃO DE PRÉDIOS EM IMAGENS DE ALTIMETRIA OBTIDAS USANDO LASER SCANNER

RESUMO

As imagens de sensoriamento remoto tem sido usadas para o estudo de áreas urbanas desde uma perspectiva global, analisado a evolução temporal da mancha urbana ou diferenças espectrais atribuídas a diferentes graus de ocupação. As restrições em termos de resolução espacial das imagens disponíveis eram uma limitação que impedia a identificação de prédios isolados. No entanto, com desenvolvimento de novos sensores, esta barreira está sendo superada. Um desses avanços é a tecnologia do laser scanner, uma forma de sensoriamento remoto ativo que se baseia no uso de raios laser para estimar a altitude média de cada pixel numa imagem usando um sistema aerotransportado. O presente artigo aborda o tema do uso de dados do laser scanner para a identificação de prédios. Para isto, a variação da altitude, representada sob forma de níveis de cinza numa imagem digital, é analisada utilizando técnicas de processamento digital de imagens. A análise se concentra na aplicação de técnicas de segmentação de imagens de nível de cinza. Hipóteses básicas a respeito da forma dos telhados são assumidas com a finalidade de desenvolver uma abordagem que permita identificar os prédios presentes na imagem, bem como estimar sua forma aparente, como eles aparecem numa imagem vertical. Um conjunto de dados da cidade de Karlsruhe é utilizado para esta finalidade. Os resultados deste estudo podem servir de apoio para o gerenciamento do espaço urbano e melhorar as condições de vida da população fornecendo informação atualizada da ocupação urbana.

ABSTRACT

Remote sensing imagery has been used for many years to monitor urban growing as a whole, detecting mayor changes in land-cover. The spatial resolution of the images provided by the sensors was too rough to allow the identification of isolated buildings. With the development of digital technology higher spatial resolution has been achieved and new sensors developed. This advances make it possible to use remote sensing as an efficient tool for monitoring urban development and map existing buildings. One of the new available tools is laser scanner technology, an active form of remote sensing that is used to obtain an estimate of the altitude of each pixel using an airborne laser based system. The present paper aims at the detection of buildings in laser scanner data. For this purpose, the variation of the altitude, stored as a gray level image, is analyzed using digital image processing tools. The analysis is based on the use of segmentation algorithms. Basic hypothesis about the form of the roofs of the buildings are assumed in order to develop an approach that allows to detect buildings and its apparent form, as they appear in a vertical image. A data set of the city of Karlsruhe is used for this purpose. The results of the study are expected to provide a basis for urban governance, improving the environmental conditions, allowing a better urban infrastructure, improving data collection and information dissemination so as to build up proper land use policies and promote fair taxation.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem demonstrado ser uma opção viável para a coleta de dados em extensas áreas. No entanto, suas aplicações na pesquisa e monitoramento de regiões urbanas têm se restringido ao acompanhamento do crescimento da área ocupada pela mancha urbana. Embora uma boa resolução espectral permita visualizar diferentes aspectos do ambiente urbano, como por exemplo, sua malha viária principal ou suas áreas verdes, a baixa resolução espacial dos sensores era um fator que limitava maiores aplicações. Este quadro tende a mudar com o lançamento de novos sistemas orbitais de maior resolução. O ganho, neste caso, é o aumento da resolução espacial, ou seja, torna-se mais fácil discriminar objetos através de sua projeção no plano horizontal. Informação altimétrica, no entanto, ainda requer de observações com cobertura estereoscópica, como por exemplo fotografias aéreas ou pares estereoscópicos obtidos por imagens de satélite.

Recentemente, uma alternativa rápida para obtenção de informação altimétrica foi desenvolvida, trata-se do laser scanner. Este sistema de sensoriamento remoto ativo utiliza plataformas aéreas para obter dados a respeito da altura dos objetos e a superfície da Terra usando um feixe laser. Esta tecnologia abre um grande leque de perspectivas no estudo do ambiente urbano, onde é necessário conhecer tanto a projeção da área como a altura dos objetos. O presente artigo aborda o uso de laser scanner para o reconhecimento de prédios em cenas urbanas e a estimativa de suas dimensões. A obtenção desta informação visa fornecer subsídios ao planejamento urbano, para o dimensionamento de infra-estrutura urbana e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos.

2. Laser scanning

O laser scanner é um sistema de sensoriamento remoto ativo usado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que é emitido em direção dos 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 a partir dele é informações como a distância entre o sensor e o objeto podem ser calculadas. Este tipo de sistemas também são chamados de LIDAR (Light Detection And Ranging) ou LADAR (Laser Detection And Ranging).

No presente trabalho foram utilizados dados do sistema de laser scanner desenvolvido pela firma Toposys. Uma descrição detalhada do funcionamento deste sistema é encontrada artigo de Wehr e Lohr (1999). As principais características são apresentadas a seguir.

O sistema de laser scanner da firma Toposys é composto por três componentes básicas: uma unidade de medição laser propriamente dita, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura optomecânica e uma unidade de registro de medições de apoio.

A unidade de medição laser scanner serve para determinar a distância entre os objetos na superfície e o sensor. O sistema do laser scanner usa um feixe ótico de alta potência e bem direcionado, coerente no espaço e no tempo, para garantir a qualidade da medição da distância e funciona em princípio como um medidor de distâncias. Uma faixa estreita do espectro eletromagnético é utilizada. Por questões de segurança, a faixa operacional mais comum varia entre 800 a 1600nm, pois devido à alta potência da energia utilizada, o feixe pode causar danos aos olhos.

Uma imagem laser scanner é obtida sobrevoando a região e redirecionando o feixe laser na direção perpendicular à linha de vôo, de maneira a obter uma cobertura bidimensional da área. Um processo de varredura optomecânica, similar ao utilizado em sistemas orbitais de sensoriamento remoto, é o responsável pelo redirecionamento do feixe. Existem diferentes opções para efetuar esta função. Entre as opções estão o uso de um espelho oscilante, ou rotatório. Uma alternativa, empregada no sistema da Toposys, é o uso do sistema "Fiber scanner", que consiste num arranjo de fibras óticas usado tanto para emitir como para medir o sinal. Neste caso, o redirecionamento do feixe é feito usando um espelho rotativo que possibilita registrar a energia proveniente de uma linha inteira com o arranjo de fibras óticas no plano montadas no focal da emissão ou recepção.

Para determinar a posição dos pontos no terreno com exatidão o sensor deve contar com apoio de um sistema de posicionamento com precisão compatível. A posição do sensor na hora da medição de cada ponto é determinada mediante um sistema de GPS diferencial (dGPS), encarregado de calcular a posição da plataforma no espaço. Um segundo sistema de apoio, uma unidade de medição de inércia (IMU: Inertial Measurement Unit) é encarregada de calcular a inclinação do sensor nas três direções. A precisão do laser está

em torno de 0,1m, por isso os sistemas de apoio devem ter uma precisão igual ou maior. Na prática, conta-se com sistemas com precisão menor a 0,1m e menor a 0.02graus (Wehr e Lohr, 1999).

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 que forma a imagem calculada (Gutelius, 1998).

Alguns sistemas podem medir diferentes ecos do sinal emitido, refletido por diferentes objetos dentro da projeção do feixe no terreno (footprint). É possível medir o primeiro e o último eco do pulso (first/last pulse), ou até pode-se medir toda a variação do eco, se for necessário. Esta característica é interessante, quando se leva em consideração a diferença de penetração que podem existir dentro de um único "footprint". O feixe, ao incidir na superfície da Terra, não atinge um único objeto e pode ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasionará um eco que retorna mais rapidamente. Já o ponto mais distante origina um eco mais demorado.

A figura 1 mostra as imagens obtidas usando o primeiro e o último pulso do laser scanner na cidade de Karlsruhe, na Alemanha. Nota-se que os prédios aparecem com a mesma tonalidade (altura) em ambas. Isto porque neste caso o primeiro e último pulso coincidem. O mesmo não ocorre na vegetação, pois no primeiro pulso o eco corresponde ao topo das árvores, enquanto que o último é causado pelo terreno, visto que parte do pulso emitido consegue penetrar a vegetação.

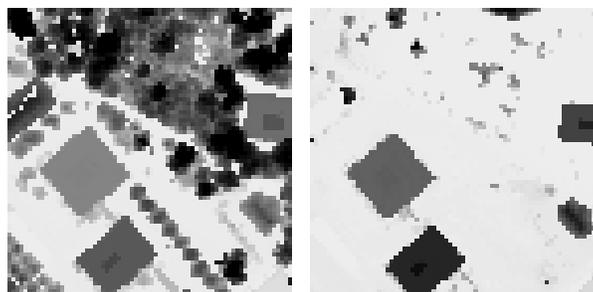


Figura 1.- Exemplo de dados laser scanner. Esquerda: imagem obtida com o primeiro eco. Direita: imagem obtida com o segundo eco.

3. Identificação de construções

Os dados do levantamento laser encontram-se organizados sob forma de imagem, ou seja uma matriz bidimensional de dados, onde cada célula armazena o valor da altura correspondente ao pixel no terreno. A variação destes valores é causada por variações da topografia, bem como pela ocorrência de objetos na superfície do terreno, por exemplo construções ou vegetação. Para diferenciar construções torna-se necessário, como primeiro passo, eliminar o efeito da topografia nos dados, isto é, a grade de valores de altitude é reduzida a um plano paralelo à superfície do terreno (Haala e Brenner, 1999). Para isto, é necessário descontar a altitude do terreno de cada pixel. O valor a ser descontado pode ser obtido de um modelo numérico do terreno disponível. Uma segunda opção consiste em utilizar o próprio conjunto de dados para estimar a altura do terreno. Neste caso, os valores correspondentes às ruas podem ser lidos da grade de altitudes e um modelo numérico, de igual resolução que a grade original, interpolado a partir destes dados. Em regiões planas, onde as construções são as únicas elevações significativas, isto não é necessário.

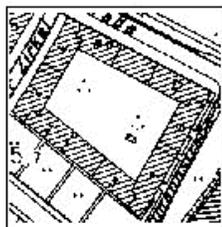
Nem todas as elevações obtidas correspondem a construções, pois outros objetos também são capazes de refletir o feixe laser. Alguns objetos, como por exemplo alguns tipos de vegetação, podem ser eliminados usando o último eco do laser. No entanto é impossível eliminar por completo os objetos não desejados e ficar

apenas com as construções. Uma análise da variação das alturas no conjunto de dados deve ser feita para identificar prováveis construções.

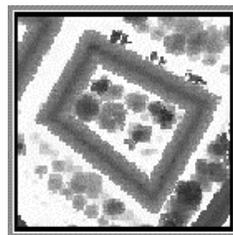
A discriminação de construções pode ser baseada em informação já disponível, como é o caso em situações de atualização. Por exemplo, em alguns municípios é possível contar com levantamentos cadastrais que contenham informação a respeito da projeção horizontal dos prédios. Neste caso, a necessidade é apenas estimar a altura destes objetos, pois seu reconhecimento na imagem passa a ser uma tarefa simples. Do cruzamento entre a informação vetorial disponível e a grade de altitudes resulta uma nova grade com valores associados apenas aos locais onde as construções ocorrem na imagem.

Quando apenas um mapa gráfico, não um mapa no formato vetorial, encontra-se disponível, a opção pode ser a utilização de uma abordagem que combine a informação destas duas fontes numa análise digital mesmo antes da digitalização das feições. Para isto, a estratégia utilizada para localizar os prédios se baseia na detecção no mapa de áreas preenchidas por linhas paralelas e a posterior otimização com a informação do laser scanner. A equidistância entre linhas é uma característica particular da representação de áreas construídas na carta. Ela cria espaços intermediários estreitos e de largura aproximadamente constante, cuja identificação pode ser usada como indício da presença de prédios. Um processo de segmentação baseado no princípio de identificação de bacias em modelos numéricos do terreno, similar àquele por Jenson e Domingue 1988) permite detectar estes espaços. Este algoritmo define caminhos para o escoamento em função da variação do gradiente local calculado dentro de uma janela 3x3 em torno de cada pixel. Embora este algoritmo tenha sido originalmente desenvolvido para delinear bacias em modelos numéricos do terreno, aplicações do mesmo no processamento digital de imagens são conhecidas (Vincent e Soille, 1991).

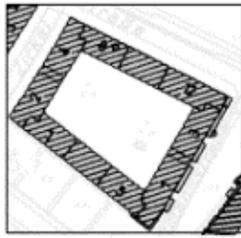
Para isto, carta deve ser inicialmente transformada ao formato raster. Na imagem obtida da carta, um valor máximo (255) é atribuído aos pixels correspondentes ao desenho. Para os pixels do fundo da carta, um valor inversamente proporcional à distância entre o pixel e o pixel mais próximo que corresponde a uma linha ou desenho é adotado. Assim, um modelo numérico artificial é gerado a partir da imagem binária. As regiões encerradas por linhas na carta formam depressões neste modelo que podem ser identificadas. As áreas entre as linhas paralelas da representação das construções estão incluídas entre elas e com isto a identificação de prováveis regiões ocupadas por prédios no mapa torna-se viável. Do cruzamento entre esta informação e a altura destas regiões na imagem laser scanner é obtida uma estimativa da área e a altura das construções (Centeno et al, 1998). A figura 3 mostra um exemplo desta análise. na figura 3a e 3b são mostrados os dados originais. A figura 3c mostra o resultado da segmentação. Aqui é mostrado o resultado do cruzamento de áreas identificadas como linhas regiões formadas por linhas paralelas no mapa que ao mesmo tempo possuem altura suficiente, nos dados do laser scanner, para caracterizar uma construção. Este resultado foi produzido a partir do primeiro eco, como pode ser apreciado na figura 3a, onde junto com o bloco aparecem árvores.



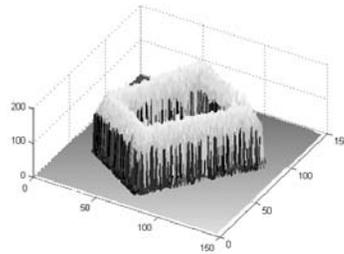
(a)



(b)



(c)



(d)

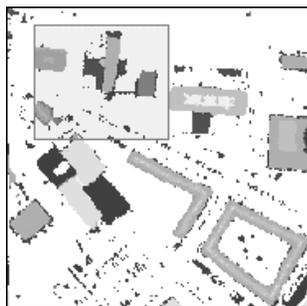
Figura 3. Uso integrado de dados altimétricos e informação planimétrica (mapa). a) imagem de mapa. b) imagem de laser scanner. c) segmentação de área ocupada por prédios. d) vista tridimensional do resultado.

A partir dos dados do laser scanner de uma região urbana, os valores dos pixels podem também ser separados em pixel "baixos" ou aqueles que não tem a altura mínima para corresponder a um prédio, e os "altos", ou seja aqueles com altura suficiente para poder desconfiar da existência de uma construção. A figura 4 mostra um exemplo deste tipo de análise. As áreas claras correspondem a pixels muito baixos. Os valores dos níveis de cinza foram reduzidos a 16 níveis para facilitar sua visualização. O quadrado na figura 4a identifica uma pequena região, cujo mapa é mostrado na figura 4b.

Os pixels considerados com altura suficiente para ser parte de construções foram agrupados em regiões conexas através da análise dos componentes conexos (Haralick e Shapiro, 1997). As regiões extremamente pequenas foram eliminadas através de um limiar de área e o resultado comparado com um banco de dados dos contornos dos prédios. Esta abordagem permite tornar um eventual trabalho de verificação muito mais simplificado, já que uma grande quantidade de prédios sem alterações visíveis é descartada após a comparação do resultado e um mapa existente.

No mapa da figura 4b encontram-se identificados dois exemplos de regiões reconhecidas como construções e que não constavam no mapa original. A figura 4c mostra uma fotografia da região menor, localizada no extremo esquerdo do mapa. Este é um erro típico, pois trata-se de uma vegetação fechada, que não permite a penetração do feixe e que possui dimensões semelhantes a um cômodo, que poderia ser uma ampliação do prédio ao adjacente. Este erro é originado na simplicidade das hipóteses assumidas para a identificação dos objetos, pois é considerado que a altura e a projeção horizontal é suficiente para caracterizar uma construção. Para contornar estes erros, uma análise mais criteriosa deve se efetuada, incluindo outros dados, como por exemplo a informação espectral derivada de uma imagem multiespectral de alta resolução.

Na figura 4d é mostrada a fotografia da segunda região identificada. Trata-se de uma nova construção que não constava no mapa e que foi identificada a partir da análise dos dados do laser scanner.



(a)



(b)



(c)



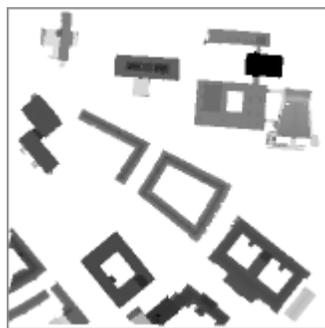
(d)

Figura 4. Segmentação dos dados altimétricos a) imagem após a eliminação dos pixels baixos. b) áreas identificadas na imagem e que não constam no mapa. c) erro: vegetação fechada. d) correto: nova construção.

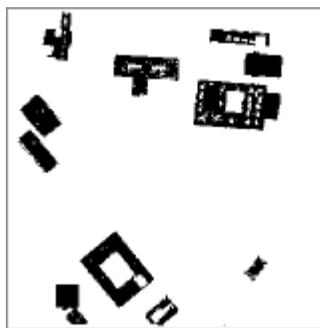
A variação dos valores dentro de um prédio identificado permite ainda discriminar o tipo de telhado que caracteriza cada unidade. Isto é possível fazendo uma análise de vizinhança, ou seja adotando como unidade uma região ou grupo de pixels em lugar de analisar cada pixel isoladamente.

A figura 5 mostra um exemplo desta análise. Na primeira imagem desta figura é mostrada a imagem original, obtida com o último eco do laser. O conjunto de prédios é composto por prédios com telhados praticamente horizontais e outros formados por planos inclinados convergentes.

Aplicando o algoritmo de segmentação por crescimento de regiões (Gonzales e Woods, 2000) a esta imagem os telhados horizontais podem ser identificados. A figura 5b mostra o resultado da segmentação por crescimento de regiões com uma tolerância de 3 unidades de altura (cm, neste caso). As regiões menores produzidas pelo segmentador foram eliminadas segundo um critério de área mínima. Uma operação algébrica entre esta imagem binária e a imagem original permite obter uma imagem com apenas os prédios cujos telhados são formados por planos inclinados. Um exemplo é mostrado na figura 5c.



(a)



(b)

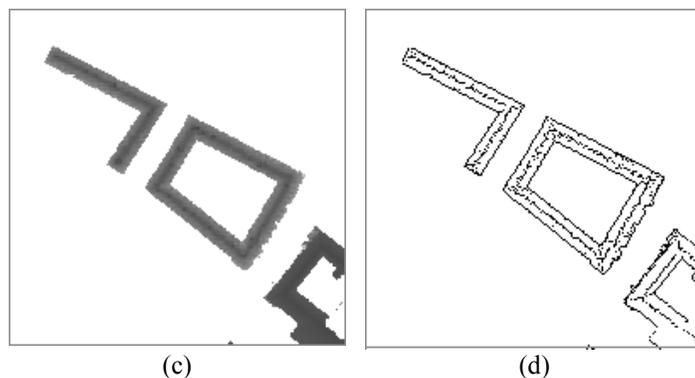


Figura 5. Classificação da forma de telhados.

Estes agrupamentos de pixels são caracterizados por uma baixa uniformidade, ao mesmo tempo que formariam, idealmente, planos convergentes. No entanto, poucos produzem uma variação uniforme dos valores da altura. Entre os fatores mais importantes encontra-se a textura do material que cobre o telhado e a ocorrência de detalhes arquitetônicos e funcionais no mesmo, como por exemplo chaminés.

A caracterização deste tipo de telhados requer a identificação das bordas e o cumeeira. As bordas externas da construção são facilmente obtidas a partir das bordas externas do agrupamento de pixels. Já a identificação da cumeeira é um tanto mais difícil, pois nem todos os máximos locais correspondem à cumeeira, como seria ideal, devido à variação dos valores dos pixels.

Os máximos absolutos podem ser identificados aproximando a variação das alturas ao longo de uma linha, ou coluna, da imagem por segmentos de reta. Admitindo um nível de tolerância para o afastamento dos pontos e a reta aproximada, um perfil simplificado pode ser obtido utilizando o algoritmo de Peucker para a redução de pontos numa linha (Bässman e Kreys, 1998). Após a simplificação dos perfis em linha e coluna, os pontos máximos dos novos perfis correspondem ao topo do telhado. Uma amostra do resultado é mostrado na figura 5d.

4. Conclusões

O estudo conduzido mostra a viabilidade do uso de dados laser scanner para o monitoramento urbano. No presente artigo foram apresentados alguns conceitos básicos da tecnologia por trás de laser scanner e um exemplo de aplicação destas imagens para a identificação de prováveis construções novas, aquelas que não constam no banco de dados disponível pelo planejador. O resultado obtido é um mapa temático, que pode ser superposto a um mapa convencional para apontar os locais suspeitos que devem ser verificados em campo. Este produto torna-se uma ferramenta útil para os profissionais encarregados do planejamento e controle do desenvolvimento urbano, pois facilita a tarefa ao descartar muitos prédios aparentemente regulares. Os resultados apresentados neste artigo podem ser estendidos a áreas maiores. A vantagem do método é a facilidade alcançada através do processamento digital.

A natureza dos dados captados usando este sistema é diferente dos métodos tradicionalmente utilizados em sensoriamento remoto e por conseguinte torna-se uma ferramenta complementar muito e significativa. A possibilidade de combinar laser scanner com imagens de sensores de alta resolução ganha neste contexto grande importância e pode ser apontada como uma alternativa viável e promissora.

Existe ainda a possibilidade, não explorada neste artigo, de analisar a altura de cada construção a partir da grade de elevação dos objetos acima do terreno. Como um novo pavimento é significa um incremento na

altura em torno de 2 a 3 metros, sua verificação é viável. Este tipo de estudo não foi efetuado aqui, mas é um dos objetivos do grupo envolvido na pesquisa.

5. Referências Bibliográficas

- Bässman, H. ; Kreyss, J. **Bildverarbeitung ad Oculus**. Springer, Berlin. 1998.
- Centeno, J.S.; Bähr,H-P. ; Kishi,R.T.: **Uso Integrado de Mapas e Dados de Laser Scanner para o Reconhecimento Automático de áreas Construídas**. 3º COBRAC, Florianópolis outubro, 1998.
- Centeno, J.S.; Steinle, E. ; Vögtle, T. (2000). **Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano**. 4º COBRAC, Florianópolis outubro, 2000.
- Gonzales, R. ; Woods, R.. **Processamento Digital de Imagens**. Ed. Blüchner, São Paulo, Brasil, 2000
- Gutelius, B.: **Engineering Applications of Airborne Scanning Lasers: Report from the Field**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 64(4), pp.246-253, 1998.
- Haala, N. ; Brenner, C. (1999). **Extraction of buildings and trees in urban environments**, ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing (54)2-3 pp. 130-137.
- Jenson, S. and Domingue, J.: **Extraction of Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(11), pp.1593-1600, 1988.
- Haralick, R. e Shapiro, L. : **Computer and Robot Vision**. Vol.1, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1997.
- Wehr, A. e Lohr, U. (1999). **Airborne laser scanning---an introduction and overview**, Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing (54)2-3 pp. 68-82.