

DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE VEGETAÇÃO USANDO DADOS DO LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO

Máximo A. Miqueles¹
Jorge A. S. Centeno²

1. Engenharia Cartográfica - UFPR, max_miqueles@pop.com.br
2. Departamento de Geomática - UFPR, centeno@geoc.ufpr.br
Caixa Postal 96 – 13416-000 – Curitiba / PR, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos de um estudo que tem como finalidade classificar diferentes tipos de vegetação em uma imagem urbana proveniente do *Laser Scanner*. Como a imagem do laser não possui informação espectral, contendo somente informações a respeito da altitude dos pontos registrados na imagem, propõe-se uma abordagem orientada a regiões para a extração dos objetos. Isto permite a análise de parâmetros espaciais, como a forma dos objetos, para a discriminação de diferentes tipos de vegetação e construções. No trabalho é apresentado um estudo de caso onde a discriminação dos objetos é efetuada usando a abordagem “orientada a objeto” do software eCognition.

Palavra Chave: Laser Scanner, Segmentação, Classificação

ABSTRACT

This work presents the results of a study that aims to classify different vegetation types in a laser scanner image obtained from an urban area. Since laser scanner data don't have rich spectral information, the discrimination of different objects must be performed analysing the elevation information stored in each pixel. The approach proposed in the present study is based on the “object oriented” approach that takes into account groups of pixels instead of isolated pixels. Therefore, the image is segmented and later the segments are classified according to spatial and spectral parameters

Keywords: Laser Scanner, Segmentation, Classification

1. INTRODUÇÃO

O uso de laser scanner como técnica de coleta de dados espaciais está crescendo nos últimos anos. Esta tecnologia encontrou vasto campo de aplicação no mapeamento da superfície da Terra, onde se destaca a aquisição de modelos numéricos do terreno. Alguns países menores, como a Holanda, já têm levantamentos a laser que cobrem toda sua extensão (Wouters e Bollweg, 1998). Outras aplicações são o monitoramento de erosão nas regiões costeiras e o mapeamento urbano, pois as informações altimétricas detalhadas fornecidas pelo laser permitem detectar mudanças do relevo ou da ocupação do terreno.

Visto que o laser scanner permite também estimar a elevação dos objetos acima da superfície, seu potencial uso no monitoramento da vegetação é promissor. Embora o laser scanner não permita uma detalhada descrição das características espectrais dos objetos, para identificar tipos de vegetação em função de sua resposta espectral, ele pode dar informações valiosas a respeito da altura e forma das árvores e plantas. Assim, uma descrição geométrica da vegetação pode ser obtida, como é mostrado por Persson et al., 2002.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos de um estudo que tem como finalidade identificar e classificar tipos de vegetação em uma imagem proveniente do *Laser Scanner*. Como a imagem do laser não possui informação espectral, contendo somente informações sobre a forma e altura de objetos, isto permite um estudo ou planejamento do espaço de forma mais rápida e precisa, para isto a imagem passa por processamentos digitais como segmentação e classificação até a obtenção dos resultados.

2. FUNDAMENTOS DE LASER SCANNER

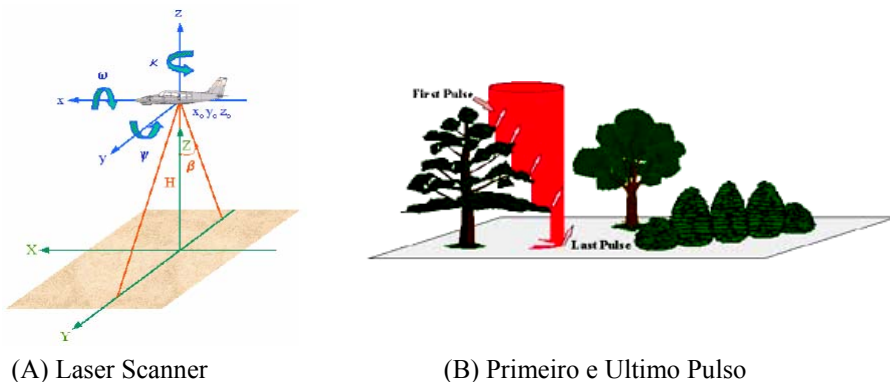
O *Laser Scanner* é um sistema de sensoriamento remoto ativo que permite determinar a elevação da superfície do terreno e os objetos presentes nela. O resultado destes levantamentos é representado geralmente sob forma de uma grade raster, que pode ser analisada usando as técnicas de processamento digital de imagens. A identificação de objetos nas imagens, no entanto, merece uma atenção especial, pois a natureza da informação nelas contida é diferente das imagens associadas às faixas do visível e do infravermelho tradicionalmente analisadas.

Um sistema *Laser Scanner* pode ser instalado em diferentes plataformas, sejam estas aviões (caso que tratado neste trabalho) ou até mesmo veículos automotivos e plataformas fixas (3D Scanners). Este sistema mede a distância entre o sensor e o objeto através de feixes de luz LASER. Tais objetos irão refletir a luz incidente, permitindo ao sistema realizar o cálculo da distância. Utilizando unidades de medições auxiliares, tal como o dGPS (diferencial GPS) e o IMU (Inertial Measurement Unit), que registram a posição e a atitude do avião durante o voo,

torna-se possível determinar a posição de pontos na superfície numa fase de pós-processamento (Gutelius, 1998). A Figura (01A) ilustra este tipo de sistema.

Embora o sinal usado seja altamente coerente no espaço, ele não atinge a superfície de maneira pontual, se não que cobre uma área unitária desta superfície. Então, o eco captado, pode provir de diferentes pontos dentro desta área unitária. Por isto, o *Laser Scanner* pode separar e gravar diferentes reflexões. Duas destas são as mais importantes, a primeira e a última (primeiro e último pulso). A relevância da importância destas duas medições torna-se evidente quando se considera um objeto pouco denso, como por exemplo a copa de uma árvore. O primeiro pulso resulta da reflexão do feixe incidente pelos pontos mais próximos do sensor, ou seja o topo da árvore. Quando a copa não é densa, parte do feixe passa por ela e é refletido pelo solo (último pulso). Este último pulso, cuja duração é mais longa, registra as informações que o primeiro pulso não conseguiu captar, ou seja, permite detectar objetos mais baixos ou obstruídos por outros. A Figura (01B) ilustra o tipo de ocorrência.

FIGURA 01 – FUNCIONAMENTO DO LASER SCANNER



(A) Laser Scanner

(B) Primeiro e Último Pulso

Com essas medições, modelos digitais do terreno podem ser criados para várias utilizações, podendo citar uma como, por exemplo, o modelo tridimensional de uma cidade o qual seria de extrema importância para seu planejamento urbano (Centeno et al., 2000), a identificação de árvores (Holmgren e Söderman, 2002) ou a modelação do relevo (Pereira e Wicherson, 1999).

Um dos campos mais promissórios para o *Laser Scanner* é o mapeamento de cidades, pois permite determinar o volume das construções e, com isto, oferece vantagens para a estimativa do alcance de antenas de comunicação ou para a determinação da altura dos prédios. Uma nova utilidade direta deste tipo de estudos é o monitoramento da vegetação em áreas urbanas, visto que para caracterizar as

construções torna-se necessário separá-las de outros objetos, como a vegetação. No entanto, a separação de construções e vegetação nem sempre é fácil, pois algumas vezes estes dois tipos de objetos apresentam características semelhantes quanto a sua geometria.

Outras aplicações dos dados do laser scanner são listadas a seguir:

- **Telecomunicações** - Para obtenção de modelos de elevação que permitam estudos de propagação de ondas e posicionamento de antenas receptoras e transmissoras (Figura 02A);
- **Engenharia Florestal** - para determinação de volumes e alturas da vegetação, estimativa de biomassa, além da remoção virtual de cobertura vegetal (Figura 03A);
- **Modelos 3D Urbanos** - para cálculo de volumes de feições artificiais, corredores urbanos formados por edifícios em vias preferenciais, estudos de propagação de ruídos e poluentes (Figura 02);
- **Linhas de Transmissão** - para localização da interferência de árvores e estruturas na faixa de domínio, posicionamento de torres e modelagem da catenária dos cabos. Esta aplicação é talvez o melhor exemplo das vantagens dos levantamentos a laser, pois a identificação de pequenos objetos como cabos é muito mais difícil em fotografias aéreas convencionais (Figura 03B).

Figura 02 - DEM

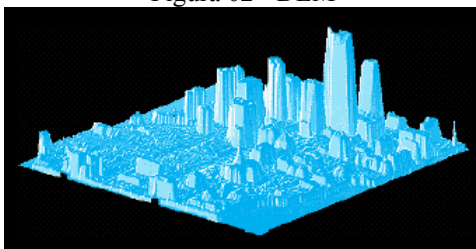
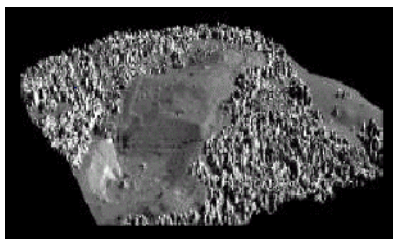
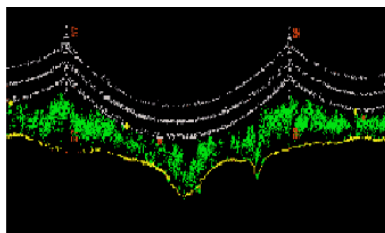


FIGURA 03 – APLICAÇÕES DO LASER SCANNER



(A) Modelo 3D



(B) Linhas de Transmissão

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

As imagens abaixo demonstram a área aonde foi desenvolvido o trabalho, trata-se da cidade de Karlsruhe (Alemanha), onde a empresa Toposys realizou um levantamento parcial com o *Laser Scanner*. Para esse trabalho foram usadas imagens do primeiro e do último pulso do *Laser Scanner*, fornecidos pelo Instituto de Fotogrametria da Universidade de Karlsruhe - IPF.

O desenvolvimento deste trabalho se baseia principalmente na utilização do *software eCognition*, que possui como principal característica uma abordagem “orientada a objeto”, que é de grande auxílio para a classificação e segmentação das imagens do laser.

Figura 03 – Foto aérea e imagem laser scanner da Região



(A) Foto aérea



(B) Imagem do Laser Scanner

4. MÉTODOS

A metodologia proposta segue a abordagem “orientada a objeto”, ou seja, analisa regiões da imagem e baseia o processo de classificação nas propriedades destas regiões. Para isto, a metodologia é dividida em duas etapas: Na primeira, segmentação, “objetos”, ou partes deles, são procurados na imagem agrupando pixels com valores digitais similares. Na segunda, estes objetos são analisados e classificados segundo suas propriedades espectrais e espaciais.

4.1. PRE-PROCESSAMENTO: CÁLCULO DA MÍNIMA CURVATURA

Para salientar as fronteiras entre os objetos, numa etapa de pré-processamento, uma imagem auxiliar foi derivada a partir das imagens do laser scanner. Esta imagem foi obtida calculando-se o valor da mínima curvatura para cada pixel na imagem original. Neste processo, equações diferenciais ajustam uma superfície à vizinhança de pontos em questão. O método consiste em calcular um valor de Z_i inicial para cada nó das células (grade raster) a partir de pontos próximos, estes cálculos consistem em repetidas derivações até que seja alcançada uma diferença (convergência ou tolerância) entre os valores amostrados e os estimados.

Como característica fundamental, pode-se dizer que as imagens geradas apresentam um contorno bem delineado e muito suave, ou seja, os objetos na imagem ficam com suas bordas bem definidas, permitindo uma melhor visualização e análise de fronteiras entre estes.

Como a determinação da fronteira entre árvores e os telhados é muito difícil considerando apenas a altura dos objetos, a utilização do filtro de *Mínima Curvatura*, aplicado às imagens do primeiro e último pulso do *Laser Scanner*, permitiu salientar as fronteiras na imagem. Com isto, as fronteiras dos objetos ficaram melhor definidas, mas junto com elas apareceram outras “falsas bordas”, ou seja, regiões onde o contraste local é alto, principalmente nas regiões de vegetação, pois é onde a variação da altura é maior.

Estas imagens (correspondentes à estimativa da mínima curvatura) foram utilizadas em conjunto com as imagens originais do *Laser Scanner* como entrada no processo de segmentação, ajudando assim na identificação mais precisa de objetos e ou fronteiras dos mesmos.

4.1. SEGMENTAÇÃO

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo dividir uma imagem, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, a uniformidade espectral dos pixels, sua textura e contraste (Woodcock et al. 1994). O processo aqui utilizado considera duas características das regiões formadas: sua uniformidade espectral e a compacidade das regiões, de maneira a garantir que as regiões formadas sejam homogêneas em termos espectrais e espaciais.

A formação de regiões, no software eCognition, é controlada por um parâmetro, denominado parâmetro de escala (*scale parameter*), que é o resultado da combinação de dois fatores que descrevem a uniformidade em termos espaciais e espectrais. A escolha deste parâmetro é função do operador, quem define a melhor opção levando em consideração as características dos objetos na imagem. Para sua fixação, o usuário deve ponderar as características das regiões a serem identificadas,

e especificar estas características predominantes (forma e cor) através de valores numéricos entre zero e um.

Numa primeira fase, pondera-se a importância da informação espectral em relação à informação espacial, caso seja considerado que a informação espacial é relevante, existe a alternativa de determinar qual característica é mais importante para as regiões: a compacidade ou a suavidade de seus contornos.

Esta escolha é subjetiva e varia de imagem para imagem. No caso deste trabalho, o parâmetro ideal para segmentar as imagens do laser scanner, com resolução espacial de 1 metro, foi determinado experimentalmente. O resultado foi a adoção de um parâmetro de escala ótimo igual a 60. Quanto ao balanço entre a informação espectral e a informação espacial, na fase da segmentação foi dado maior peso ao fator espacial. Esta escolha se justifica, pois a forma dos objetos presentes é bem definida na imagem laser. A cor, que corresponde aos valores dos níveis de cinza, está associada à altura dos objetos, o que neste caso é uma informação muito restrita. Considerando apenas a elevação dos objetos não é fácil determinar sua natureza.

Assim, o peso dado ao fator de forma foi de 0,8, sendo atribuído 0,2 para a cor. Finalmente, na ponderação dos fatores espaciais, a suavidade dos contornos e a compacidade das regiões receberam o mesmo peso.

4.1. CLASSIFICAÇÃO

A classificação é o processo onde uma decisão é tomada a respeito da classe mais provável para cada elemento. Na abordagem “orientada a objeto”, os elementos considerados não são mais os pixels isolados, mas grupos de pixels, as regiões. A grande vantagem de considerar regiões é que o número de variáveis consideradas na classificação aumenta, pois, além dos dados espectrais, é possível descrever cada região usando parâmetros de forma, textura e associação entre objetos. Com isto, os objetos podem ser mais adequadamente descritos. A grande desvantagem é o fato do resultado, o mapa temático, ser altamente dependente da segmentação e os erros de segmentação não podem ser corrigidos na classificação.

Para identificar tipos de vegetação, foi necessário separar vegetação de outros objetos, como prédios. Esta separação foi efetuada com base nos descritores das regiões obtidas pela segmentação;

Escolheu-se, através de experiências, o conjunto de parâmetros espectrais e espaciais que melhor descrevem as classes em consideração: “Edificação”, “Solo”, “árvores e arbustos” e “Vegetação rasteira”. Os descritores considerados relevantes para cada uma delas, são mostrados na tabela 01.

TABELA 01 – TIPOS DE OBJETOS E DESCRITORES CONSIDERADOS NA CLASSIFICAÇÃO.

OBJETO	DESCRITORES
Solo	Média do Primeiro Pulso
Edificação	Desvio Padrão do Primeiro Pulso e Mínima Curvatura Descritor Not Solo
Vegetação rasteira	Área Comprimento e Comprimento Avançado dos Lados Negação de Edificação
Árvores e Arbustos	Brilho Negação de Árvores e Arbusto

Utilizando tais descritores, os resultados foram bons, porém não suficientes para a finalidade pretendida. Como este resultado era uma primeira aproximação do mapa temático de vegetação e construções, optou-se submeter este resultado a um processo de pós-processamento. Nele, as imagens temáticas foram simplificadas utilizando a morfologia matemática (Haralick e Shapiro, 1997).

Os operadores de “fechamento” e “abertura” foram empregados para formar regiões mais compactas e ao mesmo tempo eliminar apêndices e regiões muito pequenas ou finas. Este tipo de pós-processamento resulta em imagens com áreas de classificação bem definidas.

1. RESULTADOS

Como o *software eCognition* permite trabalhar em níveis de classificação, foram realizadas três etapas de classificação até ser alcançado os níveis de informações desejados. Na primeira etapa, tratou-se de diferenciar todos os tipos de elevação com relação ao solo, obtendo-se assim as categorias de “Solo” e “Elevação”, a Figura 05 ilustra esta ocorrência.

Numa fase posterior, tratou-se de especializar os tipos de elevação, já que, edificações e vegetação encontravam-se no mesmo nível de informação, portanto, foram geradas três categorias de informação (“Solo”, “Vegetação” e “Edificação”), a Figura 06 ilustra esta ocorrência.

FIGURA 05 – SEPARAÇÃO DE “SOLO” E “ELEVAÇÕES”

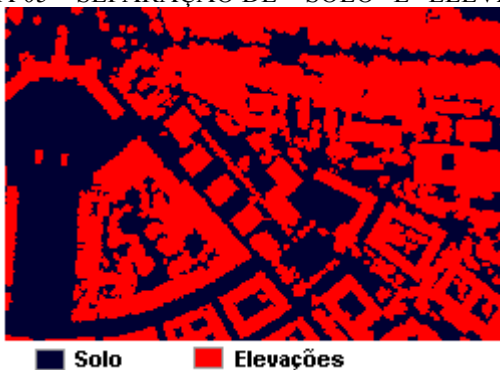


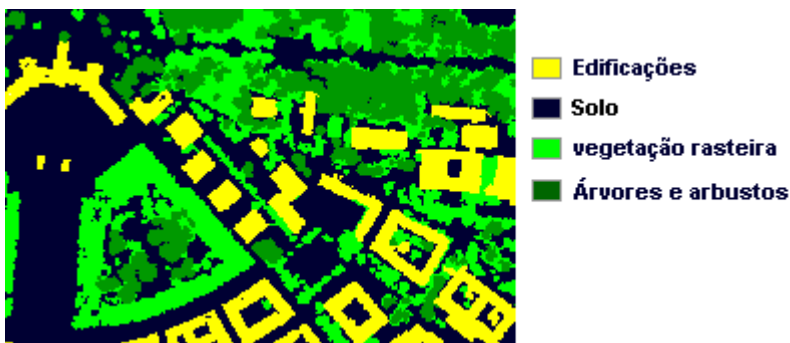
FIGURA 06 – SEPARAÇÃO DE “SOLO”, “VEGETAÇÃO” E “EDIFICAÇÕES”



4.1.

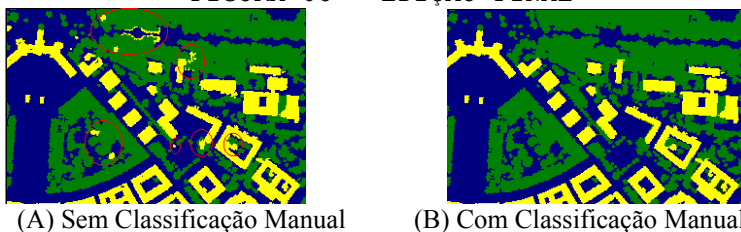
A ultima fase de classificação é com relação ao nível de informação que se objetivava, a classificação de diferentes tipos de vegetação. A Figura 07 mostra o resultado desta classificação.

FIGURA 07 – RESULTADO FINAL DA CLASSIFICAÇÃO



As imagens descritas acima apresentaram resultados satisfatórios, porém não foi possível realizar uma classificação com cem por cento de aproveitamento, o que era o esperado, devido a uma série de fatores descritos abaixo, que dificultaram a extração das construções e vegetação da região analisada. No entanto, os erros remanescentes são poucos, e numa fase final de edição puderam ser removidos, como mostra a figura 08. Na figura 08A é mostrado o resultado original e na figura 08B o resultado após a edição.

FIGURA 08 – EDIÇÃO FINAL



2. DISCUSSÃO

Os melhores resultados foram obtidos com a imagem correspondente ao primeiro pulso do sensor *Laser*, devido a que o primeiro eco do feixe refletido é causado pelo topo da vegetação. No último eco, a vegetação não está mais evidente. No entanto, o último eco, que gera as imagens do último pulso (*last pulse*), serve para separar vegetação de construções.

O processo de identificação pode ser seriamente prejudicado pela ausência de dados, pois neste caso é assumido que a região corresponde ao solo. Com isto, os

objetos nela presentes não podem ser caracterizados. Este tipo de erro pode ocorrer em regiões onde a reflexão do feixe não é satisfatória, por exemplo devido a certos tipos de superfícies serem muito uniformes (superfícies lisas), ocorrendo uma reflexão especular do pulso incidente.

Outro fator a ser considerado encontra-se associado aos erros gerados no processo de segmentação. Quando uma árvore está do lado de uma edificação baixa, torna-se difícil separar estes dois objetos apenas considerando sua altura. Com isto, as fronteiras dos objetos são incorretamente definidas na segmentação e este erro se propaga no processo de classificação. Esta confusão fez com que existissem nas imagens finais, vestígios de vegetação ou edificação dependendo do caso.

Telhados formados pela agregação de pequenos planos inclinados também são fontes de erro, porque pode ser confundido com vegetação, este é o caso das torres do castelo (maior construção apresentada na imagem), que possui uma forma arredondada.

O sucesso deste experimento encontra-se associado ao uso de variáveis espaciais para descrever os objetos, algo que é possível dentro da abordagem “orientada a objeto”. Por estarem representados no formato vetorial, os objetos resultantes da classificação também apresentam uma vantagem: é possível estimar parâmetros espaciais para cada objeto classificado como árvore. Com isto, a estimativa da altura das árvores pode ser obtida diretamente do valor máximo dos pixels que formam a região e a projeção horizontal da coda pode ser descrita em termos de “área”, “perímetro”, “relação entre eixo maior e menor da elipse circunscrita” ou “coeficiente de forma”, variáveis estas que são diretamente calculadas para cada objeto.

5. CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa apontam a viabilidade da identificação de diferentes tipos de vegetação em imagens de *Laser Scanner*. Para efetuar esta tarefa com eficiência é necessário dispor da imagem completa (primeiro e último pulso), pois a sua combinação permite estimar a elevação dos objetos acima da superfície do terreno.

Para a segmentação dos dados do *Laser Scanner*, a informação a respeito da forma é fundamental, ou seja, a uniformidade espacial dos segmentos é o parâmetro que controla o sucesso da segmentação, pois a altura dos objetos (representada como informação espectral, por estar associada ao valor do n[ível de cinza) não é suficiente para a eficiente discriminação.

No processo de classificação, existe uma grande variedade de descritores espaciais que podem ser aproveitados. Não foi possível identificar um único parâmetro para cada tipo de objeto. Nas experiências constatou-se que a escolha dos parâmetros depende da estratégia de classificação.

O sucesso parcial do experimento apresentado se explica no uso exclusivo dos dados do laser scanner. Analisando apenas a altura dos objetos e a forma dos aglomerados dos pixels torna-se viável estimar a presença de alguns tipos de objetos. Mas, como os objetos numa cena urbana não apresentam forma igual, é difícil parametrizar uma descrição adequada. Recomenda-se assim o uso integrado dos dados do *Laser Scanner* junto a imagens multi-espectrais da mesma região para a identificação dos objetos. Com isto, a qualidade de informação pode ser aumentada e o processo otimizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

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.

GUTELIUS, B.: **Engineering Applications of Airborne Scanning Lasers: Report from the Field**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 64(4), p.246-253, 1998.

HARALICK, R. E SHAPIRO, L. : **Computer and Robot Vision**. Vol.1, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1997.

PEREIRA, L.M.G. e WICHERSON, R.J. **Suitability of laser data for deriving geographical information: A case study in the context of management of fluvial zones** . ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54 1999 p.105-114

PERSSON, A.; HOLMGREN, J.; SÖDERMAN, U.; **Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68(9), p.925-932, 2002.

TopoSys®, **Topographische Systemdaten GmbH**; Disponível em: <http://www.toposys.com/toposys_d.htm>;

WEHR, A. & LOHR, U.; **Airboune Laser Scanner – An introduction and overview**, ISPRS Journal of Pjotogrammetry & Remote Sensing 54, 1999.

WOODCOCK, C.E.; COLLINS, J.B.; GOPAL, S.; JAKABHAZY, V.D.; LI, X.; MACOMBER, S.; RYHERD, S.; HARWARD, V.J.; LEVITAN, J.; WU, Y.; WARBINGTON, R. **Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model**. Remote Sensing of Environment, New York, v.50, n.3, p.240-254, Dec. 1994.

WOUTERS, W. E BOLLWEG, A.; **A detailed elevation model using airborne laser altimetry**. Geodetic info Magazine (September).

7. **AGRADECIMENTOS**

Os autores desejam agradecer a cooperação do Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (IPF) da Universidade de Karlsruhe pelo uso das imagens cedidas e à Universidade Federal do Paraná, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.