

## Segmentação de imagens geradas por perfilamento a *laser* para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos

Fernanda Cunha e Castro  
Tania Mezzadri Centeno

CPGEI - Curso de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET  
Av. Sete de Setembro, 3165 - 80123-000 Curitiba - PR, Brasil  
{mezzadri, cunhaecastro@cpgei.cefetpr.br}

**Abstract.** Airborne Laser Scanning is a modern technology of rising of topographical and accurate geometric data. It allows the identification of objects without a well-defined surface, like trees, and may produce several separately recordable reflections of one incident pulse. The capacity to determine the altimetry variation of the surface, makes possible the generation of digital maps of relief in three dimensions. The high resolution of the data offers the possibility to detect measures of individual trees. It provides a new alternative of fast analysis of forests, and it is possible to produce inventories with great wealth of information. The techniques of segmentation of the individual trees involve the interpolation of the points of the laser, filtering, creation of digital models of the terrain, of the canopy and of the tree height, smoothed of the images in different scales and segmentation through labeling and growth of areas.

**Palavras-chave:** remote sensing, image segmentation, airborne laser scanning, sensoriamento remoto, segmentação de imagens, laser scanning aerotransportado.

### 1. Introdução

Ackermann (1999) define o mapeamento digital por perfiladores a *laser* LIDAR (*Light Detection and Ranging*) como sendo uma tecnologia de sensoriamento remoto capaz de gerar automaticamente o MDT (Modelo Digital do Terreno) e MDS (Modelo Digital da Superfície). O funcionamento do sistema se baseia em um pulso de *laser* disparado em direção a superfície da terra, conseqüentemente a região iluminada reflete a luz incidente. Através do tempo decorrido durante a emissão e a captura do reflexo, realiza-se o cálculo da distância entre a superfície atingida pelo *laser* e o sensor. As informações, obtidas pelo perfilamento a *laser*, são organizadas em matrizes que fornecem as coordenadas e a altitude do obstáculo atingido, bem como a intensidade de retorno do pulso *laser* emitido. Tais dados são organizados em matrizes e podem ser interpretados através de técnicas de processamento e análise de imagens (Miquelles et al., 2003).

O planejamento econômico de florestas é uma base para decisões da indústria florestal. Tipicamente, as florestas são avaliadas operacionalmente com duas escalas: planejamento econômico a nível *stand* (unidade de uma floresta homogênea, tipicamente com 1-3 ha de tamanho) e monitoramento de fontes a nível nacional (inventário de grande área). Convencionalmente, dados do inventário florestal têm sido coletados principalmente por meio de pesquisas de campo que são dispendiosas e demoradas (Hyypä et al., 2000).

Em muitos casos, não é possível, por falta de tempo e recursos, realizar a quantidade suficiente ou desejável de levantamentos terrestres, o que pode prejudicar a validade dos resultados. A vantagem desse método é a capacidade de medir dimensões físicas diretamente das árvores e utilizar a informação para calcular os atributos necessários de um *stand* (Hyypä et al., 2001).

O presente trabalho tem como objetivo a apresentação de uma metodologia de segmentação de imagens obtidas por perfilamento a laser, que possibilite estimar a quantidade

e a altura das árvores de um *stand* e determinar o diâmetro da copa de árvores individuais. Desta forma, poderia ser preenchida uma lacuna na composição de dados visando o estudo da recuperação de florestas e a quantificação dos processos dinâmicos de ecossistemas florestais de forma espacializada.

As palavras-chave devem ser escritas em Inglês e em Português, em 10 pt, usando letras minúsculas (a não ser siglas ou nomes próprios). As palavras-chave (ou grupo de palavras-chave) devem ser escritos separados por vírgulas e terminar com um ponto final.

### 1.1 Laser Scanning Aerotransportado (LSA)

Um LSA é um perfilador a *laser* instalado em um avião. Como o *scanner a laser* tem um alcance de precisão melhor que 1 dm, o sistema de posição e orientação deve permitir pelo menos a mesma precisão. Por este motivo, utiliza-se unidades de medição auxiliares, tal como o dGPS (*differential Global Positioning System*) que calcula a posição ( $x, y, z$ ) do sensor no espaço e o IMU (*Inertial Measurement Unit*) que é responsável pelo cálculo da inclinação do sensor nas três direções (Wehr e Lohr, 1999). Dessa forma, pode-se conhecer a orientação da aeronave.

Objetos sem uma superfície bem definida, como árvores ou plantações, podem produzir vários registros de reflexões separados de um único pulso incidente. Múltiplas reflexões de um pulso *laser* podem ser registradas por alguns sistemas. As reflexões denominadas como primeiro e último pulso são as mais importantes. O primeiro pulso resulta da reflexão do feixe incidente pelos pontos mais próximos do sensor. O último pulso registra as informações que o primeiro pulso não conseguiu captar (Miquelles et al., 2003). Essa atividade é importante na filtragem e modelagem de algoritmos relacionados à vegetação e separação da superfície do solo, além da estimação do volume em aplicações florestais. Conseqüentemente, parte do pulso *laser* pode penetrar a cobertura da vegetação do terreno (**Figura 1**) (Ackermann, 1999).

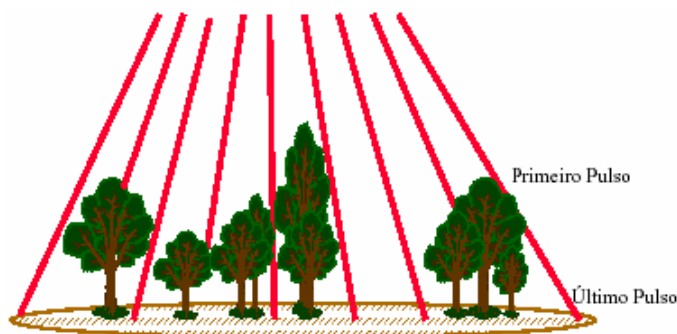


Figura 1 - Retornos do primeiro e último pulso do feixe de *laser* (Calmon et al., 2003)

O LSA proporciona uma alternativa para a análise de cobertura vegetal, sendo que é possível produzir inventários com grande riqueza de informações. Portanto, o estudo de uma grande floresta se torna viável em relação ao tempo e dinheiro investidos. A alta resolução dos dados do LSA oferece a possibilidade de detectar as medidas de árvores individuais (Persson et al., 2002).

## 2. Localização da área de estudo

A área de estudo, é uma região de reflorestamento, localizada no estado do Espírito Santo (Coordenadas da área (UTM – SAD 69): E = 411969.68 m; N = 7953009.64 m; E = 415520.67 m; N = 7950953.13 m). Possui um tamanho aproximado de 3.0 km<sup>2</sup> de plantação

de eucaliptos com idade de quatro anos. Os dados de LSA foram adquiridos no dia primeiro de maio de 2003 pela *Optech Incorporated* utilizando um ALTM 2050, que foi operado em um avião.

O vôo foi realizado a uma velocidade média de 210 km/h, com altitude de 1000 m, frequência de repetição do pulso de 50.000 Hz, ângulo de abertura de 15°, varredura do tipo “zig-zag”, frequência de perfilamento de 54.2 kHz, divergências de 0.2 mrad, precisão do GPS de 50 cm para  $xy$  (localização) e 15 cm para  $z$  (altura).

O ponto projetado pelo LASER no solo apresenta um diâmetro de 20 cm, portando as imagens estudadas possuem resolução de 20 cm por pixel.

As principais contribuições do método desenvolvido e da análise realizada nesta área são:

- Proporcionar uma alternativa para análise da região, produzindo informações necessárias ao inventário florestal de forma rápida e econômica.
- Fornecer dados para calcular atributos das florestas, como por exemplo, a biomassa.
- Colaborar na tomada de decisões a respeito dos eucaliptos que deverão ser clonados, pois, será possível verificar as amostras que tiveram melhores resultados em relação ao crescimento e a quantidade de árvores.

### 3. Metodologia

#### 3.1 Obtenção do modelo digital de altura das árvores (MDAA)

Modelos digitais são gerados a partir de uma matriz bidimensional (*grid*) de duas dimensões, com *pixels* de tamanho correspondente ao diâmetro do ponto projetado no solo. O *grid* é calculado por uma seleção simples dos pulsos do *laser* relacionados a um certo par  $(x,y)$ , ou seja, cada altura do pulso *laser* é escrita dentro de uma célula do *grid*. (Brandtberg et al., 2003; Hyypä et al., 2001).

A nuvem de pontos do *laser* forma o MDS (Modelo Digital da Superfície). Através do processamento dos dados e classificação dos pontos do terreno e da vegetação, é possível produzir o MDT (Modelo Digital do Terreno) e o MDC (Modelo digital das Copas) (Hyypä et al., 2001).

A partir do *grid*, pode-se construir os modelos MDC e MDT selecionando o máximo e o mínimo valor de  $z$  de cada *pixel*  $(x, y)$  que correspondem respectivamente às alturas máxima e mínima da superfície. O MDC é o modelo que descreve a copa das árvores e não inclui os *pixels* onde o pulso penetrou a folhagem e atingiu o solo ou o interior da árvore (Persson et al., 2002). Desta forma, a altura máxima representa as copas das árvores (MDC) e a altura mínima representa o terreno quando não há cobertura de árvores sobre o solo (MDT) (Hyypä et al., 2001; Persson et al., 2002). Através da diferença entre o MDC e o MDT é calculado o modelo digital da altura das árvores (MDAA). Após a obtenção do MDAA aplica-se sobre este o processamento necessário para a segmentação das copas das árvores.

#### 3.2 Segmentação das copas das árvores

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). Para a realização da segmentação das copas das árvores são aplicadas sobre o MDAA as seguintes operações: suavização, determinação dos pontos sementes e a delimitação dos objetos de interesse.

### 3.2.1 Suavização da imagem

Filtros de suavização são utilizados em uma etapa de pré-processamento para a redução de ruídos e para a remoção de pequenos detalhes de uma imagem antes da extração de objetos (grandes), como também, para conexão de pequenas descontinuidades em linhas e curvas (Gonzalez e Woods, 2003).

Neste caso, a suavização do MDAA tem como objetivo aumentar a probabilidade de cada árvore apresentar apenas uma altura máxima (Hyypä et al., 2001; Persson et al., 2002). Um filtro Gaussiano bidimensional com diferentes escalas é empregado para suavizar o MDAA.

A imagem é filtrada uma função Gaussiana discreta bidimensional com média zero (equação 1), onde  $x$  e  $y$  célula do grid e  $\sigma^2$  representa o parâmetro de escala.

$$G(x, y) = e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

Duas máscaras de aproximação do filtro Gaussiano com pesos gerados a partir da distribuição discreta Gaussiana foram utilizadas para suavizar a imagem. A primeira máscara (**Figura 2a**) utiliza uma escala fina de  $\sigma^2 = 0.6$  e dimensão 3 x 3 e a segunda (**Figura 2b**) emprega uma escala maior de  $\sigma^2 = 2$  e dimensão 5 x 5.

$$\frac{1}{17} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{75} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 3 & 5 & 7 & 5 & 3 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

(a) (b)

Figura 2 – Máscaras de aproximação do filtro Gaussiano.

Os valores de escala foram escolhidos empiricamente e podem ser ajustados em função dos resultados esperados. O valor de escala ótimo para a suavização corresponde à situação onde todos os ramos das árvores sejam fundidos criando uma região com apenas um máximo, ou seja, cada árvore deverá apresentar apenas uma altura máxima. As copas das árvores adjacentes não devem ser fundidas (Hyypä et al., 2001).

Diferentes situações são encontradas quando é feita a comparação da imagem em que foi aplicada a escala maior em relação à mesma imagem com uma escala fina. A escala fina pode determinar apenas um ponto máximo, conseqüentemente, o topo da árvore foi determinado corretamente. A escala fina pode determinar também mais de um ponto máximo, que pode corresponder a pontos de uma só árvore ou de mais de uma árvore. Na escala maior apenas um ponto máximo é encontrado, este pode ser de uma árvore ou de um conjunto de árvores que foram fundidas (Persson et al., 2002).

### 3.2.2 Determinação de pontos semente

Neste trabalho é utilizada uma técnica de segmentação por crescimento de regiões. O crescimento de regiões é uma técnica de agrupamento de dados, que agrupa *pixels* que apresentam características semelhantes e na qual somente as regiões adjacentes espacialmente podem ser agrupadas. Neste processo, inicialmente um *pixel* pertencente à região a ser segmentada é fornecido (*pixel* semente) e a partir deste se inicia todo o processo de agregação

(crescimento) anexando a ele os *pixels* vizinhos com características similares (Gonzales e Woods, 2000). Os pontos máximos obtidos na etapa anterior são marcados como pontos semente se o valor do *pixel* for maior que a sua vizinhança de oito *pixels*. A medida que as regiões vão sendo agrupadas ela é rotulada e seus atributos são extraídos.

### 3.2.3 Delimitação das copas das árvores

A delimitação da copa de árvores individuais foi realizada utilizando um processo de *labelling* (rotulação). Inicialmente, apenas os *pixels* que foram selecionados como pontos sementes recebem rótulos, cada ponto tem um rótulo único. Os outros *pixels* da imagem a princípio não possuem rótulos. Os *pixels* vizinhos de cada ponto semente são analisados com o objetivo de atribuir o mesmo rótulo do *pixel* semente se ele ainda não possuir um. Quando um ponto semente não possui mais vizinhos sem rótulos ele deixa de ser analisado e a rotulação segue verificando os próximos pontos sementes. Os novos *pixels* rotulados passam pelo mesmo processo de verificação da vizinhança, após todos os pontos sementes, na ordem de precedência em que foram rotulados (Hyypä et al., 2001).

A segmentação é uma repetição do processo de comprometer os pontos sementes. O crescimento da região circunvizinha de cada ponto semente é gradual. Quando a rotulação termina as áreas que correspondem ao mesmo rótulo representam a copa de uma árvore individual (Hyypä et al., 2001).

## 4. Resultados

A detecção de árvores individuais foi realizada em várias etapas. Primeiramente foram criados os modelos digitais das copas (MDC) e do terreno (MDT). O MDAA (Modelo Digital da Altura das Árvores) foi calculado a partir da diferença entre o MDC e o MDT. A **Figura 3** apresenta um exemplo de MDAA criado a partir do arquivo de pontos gerado pelo programa *ArcGIS*. A escala de cinza da **Figura 3** permite visualizar as árvores, pois, os níveis de cinza estão distribuídos de acordo com a variação da altura das árvores, o nível 255 (branco) corresponde as maiores alturas e diminui de acordo com o declínio das alturas. A imagem também foi equalizada para melhorar a visualização das árvores.

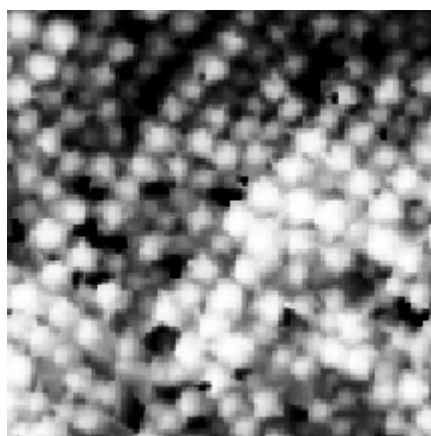


Figura 3 – Modelo Digital da Altura das Árvores (MDAA).

Depois, utilizou-se um filtro de suavização sobre o MDAA. Esta suavização tem como objetivo aumentar a probabilidade de cada árvore apresentar apenas uma altura máxima. A **Figura 4** mostra as imagens filtradas através das máscaras de aproximação do filtro Gaussiano. A **Figura 4a** mostra a imagem de MDAA após a aplicação da máscara de escala

fina (**Figura 2a**) e a **Figura 4b** representa a imagem de MDAA filtrada pela máscara de escala maior (**Figura 2b**).

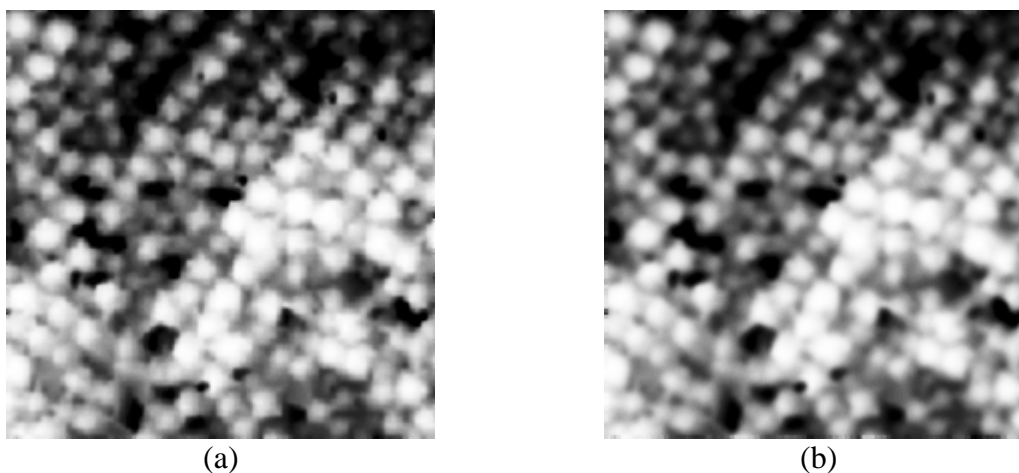


Figura 4 – (a) Imagem suavizada pelo filtro de escala fina (b) Imagem suavizada pelo filtro de escala maior.

Em seguida, a partir das imagens da **Figura 4**, foram determinados os pontos sementes. Todos os *pixels* que são considerados pontos semente, devem possuir o valor maior que o de um limiar e apresentar, também, valores baixos para seus oito *pixels* vizinhos. O limiar adotado é o valor que representa a altura mínima tolerada para uma árvore da imagem estudada.

Cada ponto semente das imagens (**Figura 5**) indica a localização de uma árvore. A quantidade de árvores é determinada pela contagem dos pontos semente. A altura de uma árvore é determinada pelo valor contido na célula do MDAA marcado como ponto semente.

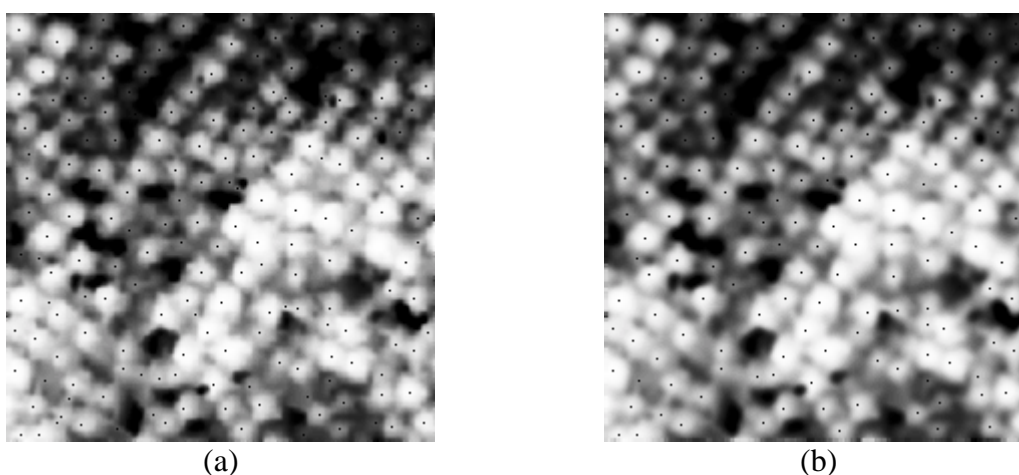


Figura 5 – (a) Imagem da figura 4a com 181 pontos sementes encontrados. (b) Imagem da Figura 4b com 161 pontos sementes encontrados.

A partir da determinação dos pontos sementes, a imagem é segmentada por crescimento de regiões delimitando o contorno de cada árvore. O diâmetro das copas pode ser determinado a partir da imagem segmentada. As imagens da **Figura 6a** e **6b** mostram a segmentação das copas das árvores das imagens da **Figura 5a** e **5b**.

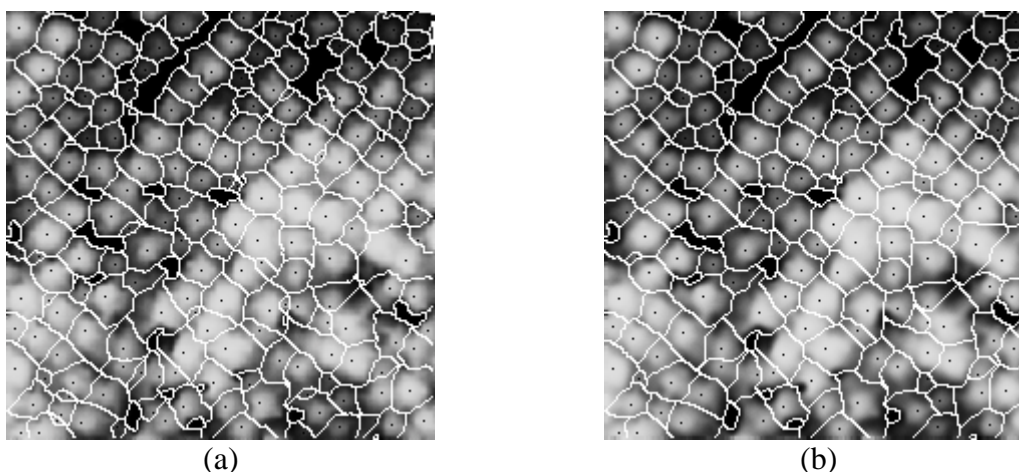


Figura 6 – Segmentação das copas das árvores. (a) Segmentação aplicada à imagem da figura 5a. (b) Segmentação aplicada à imagem da figura 5b.

## 5. Discussão e Conclusões

Este artigo apresentou uma metodologia de segmentação de árvores baseado essencialmente na informação da altura, que é o ponto de partida para extrair as informações da copa das árvores.

A grande dificuldade encontrada foi determinar o grau de suavização das imagens, pois, quando as árvores se encontram muito próximas umas das outras, se a suavização for muito grande a quantidade de árvores fundidas aumenta consideravelmente. Neste caso, a identificação de árvores individuais é complicada e os resultados não serão precisos, pois ocorre muito agrupamento de árvores durante a segmentação. Por outro lado se a suavização for pequena, uma só árvore pode ser dividida pela segmentação e identificada como se fossem duas árvores.

O agrupamento de árvores também ocorre quando o feixe de *laser* não captura a copa de uma árvore localizada muito próxima da copa de outra, onde tanto a diferença de altura da copa quanto à distância horizontal de ambas é muito pequena. Uma situação em que as imagens são favoráveis a uma segmentação satisfatória é quando a penetração do feixe de *laser* é grande e consegue detectar uma separação entre as árvores através dos pulsos de retorno do solo. A forma como a imagem é captada depende exclusivamente das particularidades da floresta e do objetivo da análise. Quanto menor for a distância entre as árvores da floresta maior é a necessidade de um feixe de *laser* com um pequeno diâmetro. Imagens de alta resolução trazem mais informações essenciais à identificação de árvores individuais, pois a probabilidade do feixe de *laser* ter atingido a copa da árvore é maior.

A técnica de detecção da altura e copa de árvores individuais depende muito das características da floresta a ser estudada. Florestas com apenas uma espécie de árvore, a princípio, tornam mais simples o trabalho de segmentação, pois as imagens geradas apresentam uma variação de altura e diâmetro das copas das árvores mais uniforme.

Neste trabalho procurou-se apresentar uma técnica que fornece bons resultados na segmentação de árvores. Em etapas posteriores procurar-se-á comparar os resultados desta técnica o resultado de outras técnicas para fins de validação do algoritmo.

## 6. Referências

Ackermann, F. Airborne laser scanning – present status and future expectations. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 54, p. 64-67, 1999.



Axelsson, P. Processing of laser scanner data – algorithms and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.54 , p. 138-147, 1999.

Brandtberg, T.; Warner, T. A.; Landenberger, R. E.; McGraw, J. B. Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density lidar data from the eastern deciduous forest in north america. **Remote Sensing of Environment**, v.85 , p. 290-303, 2003.

Calmon, A. T.; Muller, M.; Baungarten, A. P.; Felix, D.; Martins, M. A. R. Tecnologia de mapeamento digital a laser e suas aplicações em hidrologia urbana. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2003, Curitiba. **Proceedings...** Disponível em: <<http://www.lactec.org.br/publi2003.htm>>. Acesso em: 22 out. 2004.

Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2003. 509 p.

Hyypä, J.; Hyypä, H.; Inkinen, M.; Engdahl, M.; Linko, S.; Zhu, Y. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. **Forest Ecology and Management**, v. 128, p. 109-120, 2000.

Hyypä, J.; Kelle, O.; Lehtikoinen, M.; Inkinen, M. A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 39, n. 5, p. 969-975, 2001.

Miquelles, M.A.; Cavassim Jr., I.; Wehling D.; Centeno J. Classificação de Imagens obtidas do Laser Scanner baseada em atributos espectrais e espaciais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. Sessão Técnica Oral p. 1883 - 1890, Repositório da URLib: <[iris.sid.inpe.br:1908](http://iris.sid.inpe.br:1908)> Disponível em: <[www.ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.16.12.14](http://www.ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.16.12.14)>. Acesso em: 22 out. 2004.

Persson, A.; Holmgren, J.; Söderman U. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n. 9, p. 925-932, 2002.

Wehr, A.; Lohr, U. Airborne laser scanning – an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.54, p. 68-82, 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**, v.50, n.3, p.240- 254, 1994.