

# APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE DADOS ORIENTADO A OBJETO NA CLASSIFICAÇÃO DE UMA ÁREA URBANIZADA, UTILIZANDO UMA IMAGEM DIGITAL OBTIDA POR MEIO DA TECNOLOGIA DO LASER SCANNER

SELMA REGINA ARANHA RIBEIRO

DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS

JORGE SILVA CENTENO

Universidade Federal do Paraná – UFPR  
Centro Politécnico  
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - PR  
{selma, centeno;ddsantos}@geoc.ufpr.br

---

**RESUMO** - Com o avanço da tecnologia, o Sensoriamento Remoto tem se tornado uma grande potência no estudo de áreas urbanizadas. Uma das novas ferramentas desenvolvidas nos últimos anos é laser scanning, que impulsionou o uso de sensoriamento remoto para o estudo e análise do ambiente urbano, pois possibilita a obtenção de informação altimétrica da cena, o que permite o reconhecimento de objetos, como prédios e vegetação. No entanto, o reconhecimento de objetos em este tipo de imagens demanda uma interpretação mais depurada, diferente da análise pixel a pixel convencional. Neste trabalho, foi utilizado o aplicativo eCognition é utilizado para efetuar a análise orientada a objeto de uma imagem de laser scanning. A área que a imagem altimétrica abrange é urbanizada, nela encontra-se edificações isoladas, pátios, ruas e áreas verdes. A análise deste trabalho se concentra numa classificação baseada na metodologia de dados orientados à objeto, considerando vários descritores (textura, forma, brilho etc) e numa classificação utilizando-se a lógica *Fuzzy*. Os resultados obtidos permitem uma comparação entre as duas análises realizadas, mostrando que é possível classificar uma imagem baseada em dados de altimetria, levando em consideração os vários descritores existentes para melhorar a eficiência da classificação realizada.

**ABSTRACT** - With the technological advances, remote sensing showed great potential in the study of urban areas. The technology of laser scanning is one new way to study urban areas, because it supplies information about the elevation of the objects within an urban scene. This information can be used to recognize buildings or vegetation within the scene. Nevertheless, object recognition using laser scanning data requires the use of a more sophisticated approach, different from the traditional pixel based algorithms. In this work, the software eCognition is used, to perform an object oriented analysis of laser scanning imagery. The study area is a part of the city of Karlsruhe, where buildings, yards, streets and vegetation can be found. The analysis is based on the so called object oriented image analysis, where the image is divided into segments and each segment is analyzed as an image object, described by its spectral properties and other properties as texture, forms or intensity. A comparison of two classification methods is presented. The first one is a simple nearest neighbour classification, while in the second one the segments are classified using a classification scheme based on fuzzy logic. The obtained results allow a comparison among the two accomplished analyses, showing that it is possible to classify an image based on elevation data, taking into account the different properties of the objects to improve the efficiency of the accomplished classification.

---

## 1 1 INTRODUÇÃO

A classificação baseada na metodologia orientada a objeto baseia-se no princípio de analisar não apenas um pixel isoladamente, mas dividir a imagem em pequenos segmentos, considerados objetos na imagem, os quais são

extraídos da imagem original por meio de técnicas de segmentação.

As imagens de sensoriamento remoto têm sido usadas para o estudo de impacto ambiental, climáticos, subterrâneos, marítimos, da superfície terrestre e atualmente das áreas urbanas. Uma das limitações das imagens obtidas por sensoriamento remoto é a resolução

espacial. No entanto, com o desenvolvimento de novos sensores, esta barreira vem sendo superada. Com o aumento da resolução espacial pode-se, atualmente, melhor discriminar objetos em áreas urbanas, mas ainda persiste o problema das informações altimétricas, requerendo observações com cobertura estereoscópica, por meio de fotografias aéreas ou pares estereoscópicos obtidos por imagens de satélite.

Uma tecnologia emergente para a obtenção de informação altimétrica é o laser scanning. Este sistema de sensoriamento remoto ativo utiliza plataformas aéreas (aeronaves, helicópteros) para obter dados a respeito da altura dos objetos e da superfície do terreno utilizando feixes de laser (LASER-Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Para se obter a posição altimétrica e planimétrica com precisão dos pontos contidos no terreno e nas elevações (árvores, edificações etc), é necessário o apoio com informações de GPS diferencial (dGPS) e ainda de um sistema que fornece dados a respeito da orientação da plataforma durante a aquisição da imagem. Este sistema é a unidade de medição de inércia (IMU-Inertial Measurement Unit) a qual é encarregada de determinar os ângulos de inclinação do sensor em três direções (CENTENO, 2000).

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

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Laser Scanning

O laser scanning é um sistema de sensoriamento remoto ativo utilizado 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 aos objetos. Ao atingir a superfície dos objetos, este feixe é refletido e um eco retorna ao sistema, que faz o papel de emissor e sensor da energia. O sistema é então encarregado de medir este eco e registrar o tempo decorrido entre a emissão e a captação do eco. A partir da intensidade do sinal de retorno é possível derivar informações a respeito da natureza da superfície do objeto, mas o dado mais relevante é o tempo decorrido entre a emissão e o registro do eco, pois permite calcular a distância entre o sensor e o objeto. Este tipo de sistema também é chamado de LIDAR (Light Detection And Ranging) ou LADAR (Laser Detection And Ranging).

A imagem altimétrica utilizada neste trabalho foi adquirida pela empresa Toposys. Uma descrição detalhada do funcionamento deste sistema é encontrada em WEHR e LOHR (1999). As principais características são apresentadas a seguir.

### 2.2 Funcionamento do Laser Scanning

O sistema laser scanning da empresa 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 scanning serve para determinar a distância entre os objetos na superfície e o sensor. O sistema utiliza 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 (WEHR e LOHR, 1999).

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). 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 (figura 1).

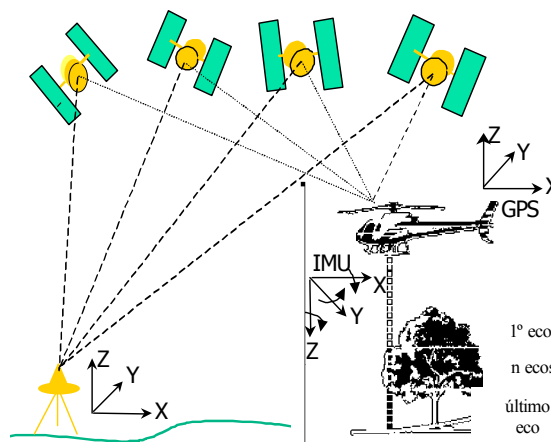


Figura 1 – Composição dos sistemas de apoio para determinação precisa dos pontos.

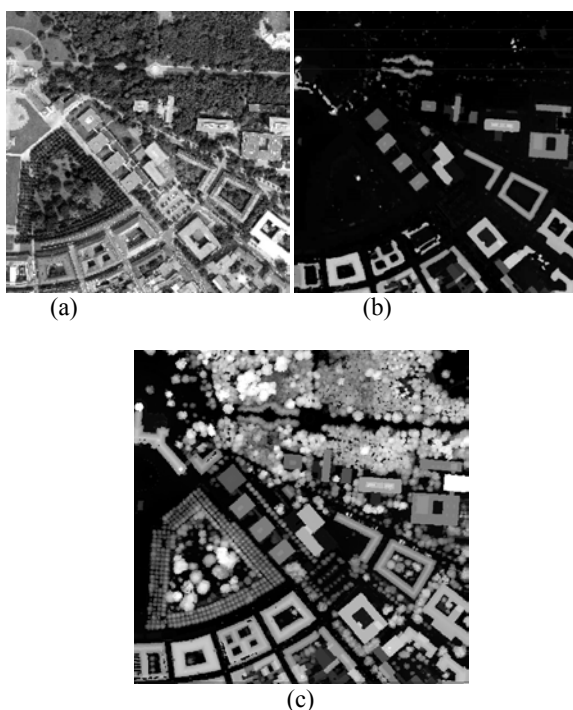
A precisão do laser está em torno de 0,1m, por isso os sistemas de apoio devem ter uma precisão igual ou maior. Na prática, conta-se com sistemas com precisão menor a 0,1m e menor a 0.02° (WEHR e LOHR, 1999). O conjunto de medições de apoio, os dados do IMU e do GPS diferencial são medidos e armazenados simultaneamente 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.

Alguns sistemas podem medir diferentes ecos do sinal emitido, refletido por diferentes objetos dentro da projeção do feixe no terreno (footprint-diâmetro do feixe). É possível medir o primeiro e o último eco do pulso

(first/last pulse) (figura 1), 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 (first pulse). Já o ponto mais distante origina um eco mais demorado (last pulse).

### 3 MATERIAIS

Como já mencionado a imagem digital utilizada na classificação foi a de altimetria, obtida pelo sistema laser scanning pela empresa Toposys. Para a visualização dos dados de altimetria numa imagem digital, os pontos de altitude determinados são quantizados em valores de cinza com resolução de 8 bits (256 níveis de cinza) para que se tenha a representação desses valores numa imagem digital em tons de cinza. A figura 2 mostra as imagens obtidas usando o primeiro e o último pulso do laser scanning na cidade de Karlsruhe, que localiza-se na região sudoeste da Alemanha.



**Figura 2** - (a) Fotografia aérea; (b) Imagem de dados laser scanning obtida com o primeiro eco; (c) Imagem obtida com o último eco.

Nota-se que os prédios aparecem com a mesma tonalidade (altura) em ambas as imagens do laser scanner (figura 2b e 2c). 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 2c).

## 4 MÉTODOS

### 4.1 Análise Orientada a Objeto

A classificação baseada na metodologia de dados orientados a objeto baseia-se no princípio de analisar não apenas um pixel isoladamente, mas dividir a imagem em pequenos segmentos, considerados objetos na imagem, os quais são extraídos da imagem original por meio de técnicas de segmentação. Tais objetos são posteriormente analisados como unidades, sendo possível levar-se em conta fatores de forma, textura e outras variáveis espaciais que não podem ser consideradas numa análise pixel a pixel. Existem várias opções para efetuar a segmentação de uma imagem (GONZALES, 2000). Os algoritmos de segmentação mais comuns são baseados na análise da similaridade e/ou descontinuidade da informação espectral ao longo da imagem. Na primeira categoria a abordagem é particionar a imagem baseando-se em mudanças bruscas nos níveis de cinza. As técnicas de detecção de linhas e bordas na imagem são as mais conhecidas no primeiro grupo. A segunda categoria inclui métodos de limiarização, crescimento de regiões e divisão e fusão de regiões (GONZALES, 2000).

A análise de dados orientados a objeto de imagens digitais está disponível em vários aplicativos existentes no mercado. Cita-se como exemplo, o aplicativo eCognition. Nele, os objetos resultantes da segmentação representam a informação da imagem de uma forma abstrata. Além das informações espectrais outras informações ou atributos adicionais (forma, textura, relacionamento entre objetos e sua vizinhança) podem ser utilizados para a classificação (ECOGNITION' MANUAL, 2001). A partir dos segmentos, a análise passa a ser orientada a objeto, pois cada segmento é considerado como sendo um objeto independente.

Para representar o conhecimento do usuário, o aplicativo eCognition dispõe de redes conectadas, chamadas de classes hierárquicas de operadores. Estas classes são capazes de modificar suas conexões ao sofrerem alterações nas informações fornecidas pelo usuário. Regiões representativas de cada classe são fornecidas como amostras e a partir delas, uma descrição das classes é obtida. O usuário pode selecionar a informação útil, interagindo com o aplicativo através da escolha dos atributos relevantes da imagem ou informações advindas de mapas (SCHWARZ; STEINMEIR e WASER, 2001). Quanto mais informações relevantes o usuário introduzir no sistema, maior é o conhecimento armazenado nas classes hierárquicas. Mudanças são feitas na rede automaticamente, conforme o usuário faz alterações nas descrições das informações.

Para a classificação baseada na metodologia de dados orientados a objeto o aplicativo dispõe de dois processos de classificação, sem e com ligação com as feições das classes. No primeiro caso, o grau de pertinência do objeto a cada possível classe é estimado

para cada objeto da imagem e representado como uma função *fuzzy*. A classe com maior associação será reconhecida como a classificação mais apropriada para o objeto da imagem. No segundo caso, mais complexo, um objeto classificado muda sua classificação de acordo com outros objetos da rede, pois cada objeto é um contexto de características (feições) que podem evoluir (crescer) para outros objetos; a classificação é um processo iterativo em círculos nos quais cada objeto é classificado e reclassificado, levando-se em consideração os cálculos das mudanças na classificação dos objetos da rede.

Para a primeira opção, existem duas alternativas para a estimativa da função de pertinência. A primeira, chamada de vizinho mais próximo, analisa a distância entre o objeto e cada classe, no espaço multidimensional dos parâmetros considerados, e opta pela classe mais próxima. Para representar a proximidade entre o objeto e a classe, uma função *fuzzy* é usada. A segunda alternativa consiste em propor funções de pertinência para cada variável e efetuar uma inferência a partir destas funções utilizando a lógica *fuzzy*. As funções de pertinência devem refletir as evidências que cada variável apresentam em favor de cada classe, traduzindo esta evidência sob forma de um valor entre zero e um.

A lógica *fuzzy* é utilizada, pois apresenta vantagens quando se deseja representar o conhecimento através das funções de pertinência. A classificação utilizando métodos tradicionais, tais como máxima verossimilhança, baseiam-se em modelos booleanos, onde um pixel pertence ou não pertence a uma determinada classe (0 ou 1). Entretanto, num processo de classificação automática a incerteza está sempre presente, independentemente da regra de decisão utilizada. Os conjuntos *fuzzy* lidam com conceitos inexatos, é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não tem ou não pode definir limites rígidos entre classes (BURROUGH e MCDONNEL, 1998). A teoria *fuzzy* auxilia na melhora da classificação bem como em sua representação. Esta teoria permite a distinção de pixels mistos e homogêneos.

#### 4.2 Classificação Por Vizinho Mais Próximo

Para a classificação dos objetos de uso na área de estudo foi utilizado o aplicativo eCognition que baseia-se na metodologia de dados orientados a objeto. O aplicativo eCognition permite que através da imagem segmentada na tela (agregada em regiões), sejam coletadas amostras para descrever cada classe a partir das regiões (figura 3a), tendo como referência a imagem digital de altimetria (figura 3b).

Para caracterizar os objetos, a forma dos segmentos e os valores associados à altura obtidos a partir do último e do primeiro eco foram utilizados. Considerando os dados contidos nas imagens de altimetria, foram processados os valores da média, desvio padrão, razão, as diferenças das médias e brilho entre o objeto e a sua vizinhança. Para representar a forma, foram calculados a área, altura, largura, altura da borda, relação

altura /largura, índice de forma, densidade, direção principal e coeficiente de assimetria.

Para o relacionamento entre feições de cada classe, foi estimado o relacionamento do objeto com sua vizinhança (borda, área, existência, distância e diferença da média de cada variável por classe).

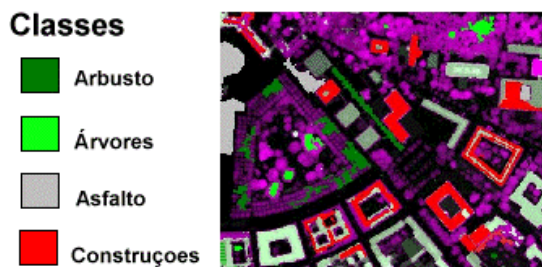


Figura 3 – (a) Classes; (b) Imagem digital de altimetria com amostras coletadas pelo operador.

#### 4.3 Inferência Fuzzy

O aplicativo possui funções baseadas em lógica *fuzzy* que permitem uma classificação supervisionada mais flexível que a classificação pela distância mínima: Esta abordagem é uma tentativa de representar o conhecimento do operador a respeito das características de cada tipo de objeto. Porém, esta tarefa nem sempre é fácil, pois é difícil propor funções de pertinência, mesmo para fatos bem conhecidos numa análise visual. Na prática, quando se tem uma correlação muito forte entre as características dos objetos a serem relacionados, a classificação *fuzzy* é muito problemática (FOODY, 1995; FOODY e ARORA, 1996). Com isto, é necessária uma condição prática e lógica bastante considerável, pois a definição de cada função exige experiência do operador, bem como interpretações na escolha de descritores que podem melhorar a eficiência da classificação.

Por exemplo, na figura 4 são apresentadas três variáveis e para cada uma delas duas funções de pertinência, cada uma delas associada a uma classe (azul, preto). A primeira variável corresponde ao “brilho”, a segunda ao desvio padrão do último eco do laser dentro do segmento, e a terceira representa a relação entre o valor médio do último eco no segmento e o somatório das médias dos primeiros e últimos ecos no segmento (razão).

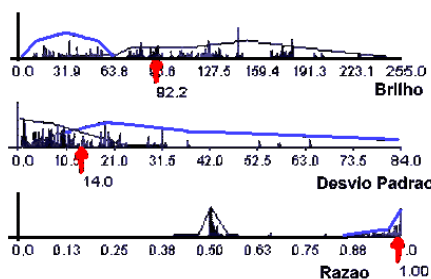
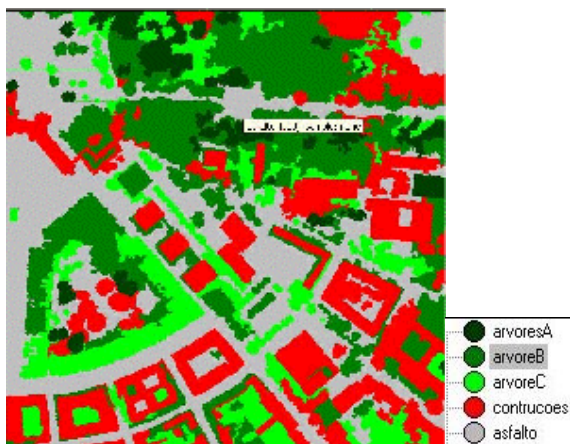


Figura 4 – Relacionamento entre duas classes por classificação *fuzzy*.(a) Descritor de brilho;(b) Descritor de desvio-padrão;(c) Descritor de razão.

Na figura 4, verifica-se um maior grau de confusão entre as classes utilizando-se os descritores de brilho e desvio-padrão (figura 4a e 4b). Já com o descritor de razão (figura 4c) existe uma maior separabilidade entre as classes, permitindo uma classificação mais eficiente. Nos casos mostrados pela figura 4a e 4b, um falso comportamento das funções pode prejudicar a classificação, visto que se o algoritmo de inferência utiliza o operador lógico “E” para combinar estas três fontes de informação, o valor mínimo das funções de pertinência deverá ser adotado. Quando as funções de pertinência não estão bem separadas, como é o caso do segmento representado por uma seta vermelha na figura 4b, a confusão é alta e uma classificação errada pode ser obtida facilmente.

## 5 RESULTADOS

A Figura 5 contém a imagem classificada dos objetos (construções, árvores e asfalto) utilizando-se o método de classificação por vizinho mais próximo realizada a partir das imagens do primeiro e segundo eco dos dados de altimetria obtidos pelo laser scanning.

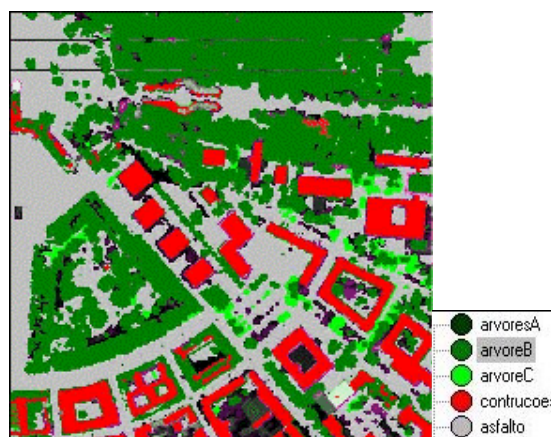


**Figura 5** – Classificação realizada pelo método da distância mínima.

Verifica-se, na figura 5, que a metodologia é eficiente na separação dos objetos presentes na imagem, de acordo com as amostras coletadas, ou seja, ocorreu uma boa classificação dos objetos “árvores”, “construções” e “asfalto”. No caso dos objetos classificados como “árvores”, verificou-se a necessidade de coletar diferentes amostras para representar as distintas características desses objetos. Por exemplo, a amostra árvoreC está representando os arbustos na imagem original. Isto possibilitou uma maior eficiência na utilização deste método de classificação (vizinho mais próximo). O fato do processo de segmentação considerar regiões homogêneas ao invés de trabalhar com o pixel individualmente foi importante na agregação dos pixels, minimizando a heterogeneidade no domínio geométrico e radiométrico. Detectando regiões similares, que possuem propriedades locais constantes, tais como o brilho.

Na figura 5, pode-se verificar que algumas vegetações foram classificadas como construções e algumas construções como vegetação. Isto pode ser explicado pelo fato da análise considerar apenas a informação relativa à altitude dos objetos. Assim sendo, quando apenas a altitude é analisada existe grande confusão.

Por este motivo pode-se dizer que a classificação *fuzzy*, por ser um método mais flexível, pode suprir estes problemas. A Figura 6 apresenta os objetos da imagem classificados utilizando-se o método de classificação *fuzzy*.



**Figura 6** – Classificação *fuzzy*.

Verifica-se na figura 6, que os objetos que foram incorretamente classificados pelo método da distância mínima (figura 5), utilizando-se a classificação *fuzzy* foram classificados corretamente.

Verificou-se no processo de classificação *fuzzy*, que imagens de altimetria possuem descritores (forma, textura etc) altamente correlacionados, não permitindo uma classificação mais adequada para este estudo. Como pode ser visto na figura 6, um grande número de segmentos não foi classificado. No entanto, nota-se que nesta omissão muitos erros foram corrigidos, como por exemplo em torno dos prédios na região central da imagem.

Uma forma de melhorar a classificação desses objetos é utilizar, junto com a imagem de altimetria, novas imagens, que contenham informações a respeito da orientação dos planos formados pelos objetos. Com isto, pode-se prover de mais um descritor que ajudará bastante à melhorar a eficiência da classificação. Esta idéia está sendo implementada para trabalhos futuros.

## 5.1 5 CONCLUSÕES

A metodologia de dados orientados a objeto possibilitou uma boa classificação dos objetos utilizando-se imagem de altimetria.

Pode-se salientar como vantagem o fato do processamento da segmentação, não trabalhando somente com o pixel individualmente, mas com regiões homogêneas.

A classificação pelo método da distância mínima é bastante significativa para este propósito, porém, por ser bastante simples, não permite a interferência para a inclusão da experiência do operador.

A classificação *fuzzy* mostrou-se mais eficiente, pois supriu as falhas na classificação realizada pelo método convencional. Entretanto, também apresenta falhas na classificação. No entanto, estes erros são decorrentes do uso exclusivo de informação altimétrica na análise. A utilização de dados multiespectrais poderia ser de grande valor para aprimorar esta análise. Deve-se destacar que, utilizando a lógica fuzzy, há necessidade de se ter conhecimento do problema físico a ser solucionado, para que se escolha uma função que melhor discrimine as classes de interesse.

## 6 REFERÊNCIAS

BURROUGH, P. A; MCDONNEL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998.

CENTENO, J.S.; STEINE, E.; VEOGTLE, T. **Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano**. 4º COBRAC, Florianópolis, 2000.

ECOGNITION – **Object Oriented Image Analysis**. Release 1.0. DEFINES AG Rindermarkt. Munich, Germany, 2001.

FOODY, G. M. **Fully fuzzy supervised classification**. RSS'95: Remote Sensing in Action, Remote Sensing Society, Nottingham, pp. 1187-1194, 1995.

FOODY, G. M.; ARORA, M. K. **Incorporating mixed pixels in the training, allocation and testing stages of supervised classifications**. Pattern Recognition Letters, 17:1389-1398, 1996.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

SCHWARZ, C. H.; STEINMEIER CH.; WASER, L., **Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodic approaches using high – resolution satellite data**. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, Switzerland, 2001.

WEHR, A. e LOHR, U. **Airborne laser scanning – an introduction and overview**. Isprs Journal of Photogrammetric and Remote Sensing v. 54, op 68-82, 1999.