

Caracterização de objetos do cenário urbano através de índices de realce extraídos de dados do sensor HRSC-AX

Leonardo Ercolin Filho¹
José Alberto Quintanilha¹

¹ Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - Poli/USP
Avenida Almeida Prado, 83 - 05508-900 - São Paulo - SP, Brasil
leonardo.ercolin@poli.usp.br
jaquinta@usp.br

Abstract. This paper presents a methodology to characterize urban objects through the enhance index extracted from the data of the airborne digital sensor HRSC-AX (*High Resolution Stereo Camera Airborne eXtended*). The methodology was conducted based on this sensor's visible (RGB) and near infrared channels and its digital surface model (DSM). The combination of these images with principal components analysis and normalized digital surface model was used to enhance objects, such as vegetation, buildings, shadows and bare soil in the urban scene. The experiments were conducted at an urbanized area of Salvador (BA, Brazil). The results showed that the methodology can be used as an alternative method to reduce the confusion errors on the unsupervised classification of high resolution images.

Palavras-chave: HRSC-AX, classification, urban objects, high resolution images, HRSC-AX, classificação, objetos urbanos, imagens de alta resolução.

1. Introdução

A possibilidade de aquisição de imagens multiespectrais com alta resolução espacial estabeleceu um novo conceito sobre imagens de alta resolução. A tecnologia de imageamento disponibilizada nos sensores orbitais e aerotransportados passou a promover mudanças significativas no uso dos métodos de classificação de imagens. Com isso, a classificação de imagens de alta resolução espacial passou a ser uma tarefa mais complexa, principalmente quando se trata de extrair informações de áreas urbanas devido a grande quantidade de detalhes existentes nessas regiões.

Pesquisas recentes apontam para o uso de técnicas baseadas em informações contextuais dos objetos presentes na imagem. Essas técnicas utilizam, além de informações de textura, etapas de separação de objetos baseadas em segmentação. Além disso, outras técnicas indicam o uso de informações adicionais provenientes de outros sensores para auxiliar na separação dos objetos de interesse.

De forma similar às técnicas baseadas em informações contextuais recentemente desenvolvidas, a aplicação de índices de realce se apresenta com uma alternativa para a classificação de imagens de alta resolução espacial. O uso de índices de realce em áreas urbanas, por exemplo, permite caracterizar elementos presentes no cenário urbano como áreas edificadas, sombreadas, de vegetação, de solo exposto, entre outros.

A partir dessas constatações, este trabalho apresenta uma metodologia para caracterizar objetos presentes no cenário urbano como vegetação, edificações, sombras e solo exposto através de índices de realce extraídos de dados do sensor de imageamento digital aerotransportado HRSC-AX.

1.1 O sensor HRSC-AX

O HRSC-AX é um sensor aerotransportado de imageamento digital multiespectral desenvolvido pelo Instituto Aeroespacial da Alemanha (*DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) como sensor de imageamento orbital nas missões espaciais de exploração ao planeta Marte MARS96 e MARS Express e atualmente é utilizado para aplicações de imageamento nos campos da Fotogrametria e do Sensoriamento Remoto (Neukum, 2001).

O princípio de imageamento deste sensor é baseado no conceito de aquisição de imagens pelo método de varredura linear. Esse método utiliza dispositivos lineares de captura e possuem como características principais a alta resolução espacial, resolução radiométrica de 12 bits e resolução espectral no domínio do visível (RGB) e infravermelho próximo (NIR). No sensor HRSC-Ax, o sistema de captura da imagem é composto por um cone com distância focal de 150 mm e 9 dispositivos lineares de captura, sendo 5 dispostos em ângulos de visada para derivação de dados tridimensionais e 4 dispostos para aquisição de imagens no domínio do visível e infravermelho próximo. A Figura 1 mostra o sensor HRSC-Ax e o princípio de aquisição de imagens.

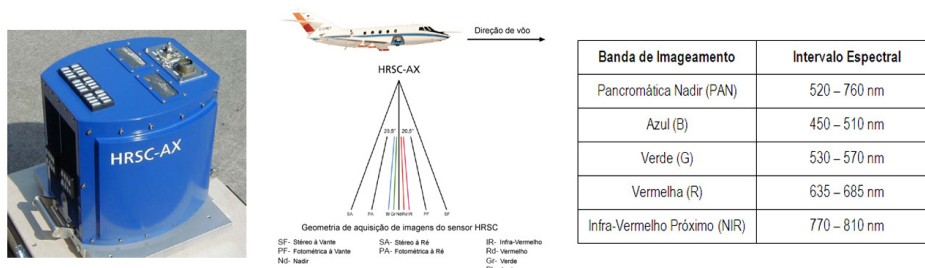


Figura 1 – O sensor HRSC-Ax e o princípio de aquisição de imagens. Adaptado de Neukum (2001).

1.2 Classificação de Objetos Urbanos

A classificação é o processo de extração de informações a partir de imagens com o objetivo de reconhecer padrões e objetos com características semelhantes. A classificação dos padrões e objetos existentes em uma imagem é feita através da escolha das características que os descrevem para diferenciá-los entre si. Dessa forma, as técnicas de classificação digital têm o objetivo de tornar o processo de mapeamento da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subsequentes (Novo, 1992).

Nos últimos anos, devido à capacidade dos novos sensores multiespectrais de adquirirem imagens com alta resolução espacial, as possibilidades de aplicações desses dados relacionados com Sensoriamento Remoto em ambientes urbanos foram ampliadas (Antunes e Centeno, 2003). O mapeamento em grande escala, necessário para estabelecer diretrizes para se fazer um planejamento e monitoramento urbano adequado, pode ser efetuado pelo uso de imagens. Essas imagens isoladamente facilitam a atualização de bases cadastrais e, quando associadas com outras fontes de dados, como mapas temáticos, dados cadastrais ou dados derivados de levantamentos com varredura a laser, possibilitam a detecção de elementos antropomórficos, o monitoramento de alterações promovidas pela ocupação do espaço pelo homem em regiões urbanas, os estudos de impermeabilização do solo ou mapeamento de regiões irregulares, dentre outros. Os produtos gerados com o uso de imagens de alta resolução provenientes de sensores de imageamento orbital e aerotransportado tornam-se cada vez mais necessárias aos gestores urbanos, como suporte para a tomada de decisões técnicas e estabelecimento de planos diretores que objetivem a expansão da ocupação do espaço urbano de forma organizada.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia apresentada neste trabalho está baseada na utilização de índices de realce para caracterizar áreas verdes, edificações, áreas de sombra e áreas de solo exposto. Para isso, foram necessários, além dos dados gerados pelo sensor HRSC-Ax, as componentes principais e também o modelo digital de superfície normalizado. A Figura 2 mostra as etapas realizadas no desenvolvimento da metodologia.

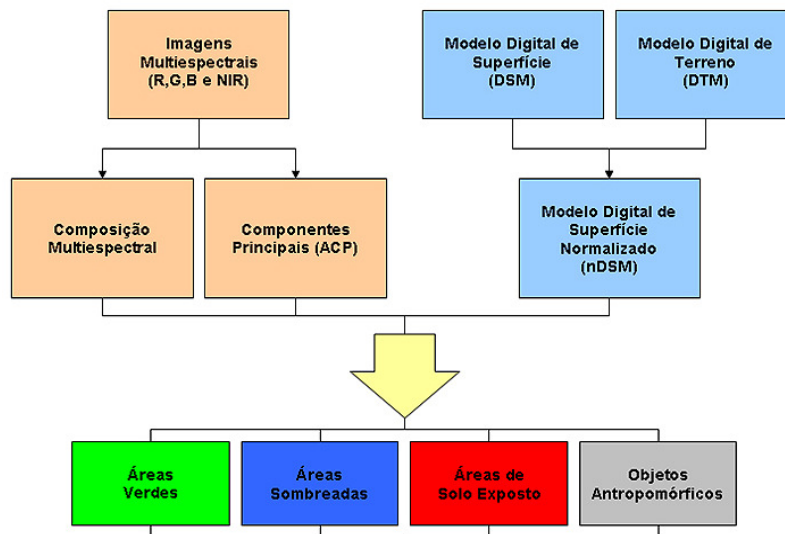


Figura 2 – Etapas realizadas no desenvolvimento da metodologia.

2.1 Análise de Componentes Principais

O uso das técnicas de componentes principais tem o objetivo de atenuar a correlação existente nas imagens por meio de combinações lineares entre os dados originais. Essas combinações lineares, chamadas de componentes principais, que são linearmente independentes entre si, têm a capacidade de reter a maior parte da informação contida nos dados originais em uma dimensionalidade menor que a dos dados usados. Em outras palavras a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica estatística capaz de reduzir o volume das redundâncias entre as bandas espectrais através de operações de rotação e translação dos eixos no espaço de atributos espectrais. Após essa transformação, um novo conjunto de dados é gerado, sendo que esses não estão altamente correlacionados entre si como nas imagens originais e representam, decrescentemente, a máxima porcentagem de variabilidade existente nessas imagens. Esse procedimento garante a separabilidade espectral dos objetos presentes na cena e é utilizado como ferramenta para analisar objetos em áreas urbanas.

As componentes principais foram computadas utilizando como atributos os valores de brilho associados com cada banda do espectro visível (RGB) e com os valores de brilho associados com a imagem adquirida no espectro infravermelho próximo (NIR), ou seja, a dimensionalidade do espaço de atributos é igual a 4. Dessa forma, as quatro componentes principais resultantes juntas respondem por 100% da variabilidade das informações presentes na imagem multiespectral, porém, minimiza a redundância de informações entre as componentes.

2.2 Caracterização de objetos antropomórficos

Para a caracterização de objetos antropomórficos como edificações e árvores, é necessário extrair um modelo digital de superfície normalizado (nDSM). Para isso, foi utilizado um modelo digital de terreno (DTM) gerado através de restituição fotogramétrica digital de fotografias analógicas. O modelo digital de terreno utilizado no desenvolvimento da metodologia proposta desta pesquisa tem como finalidade facilitar a separação dos elementos presentes no DSM e que não estão ao nível do terreno, como árvores e edificações. Devido ao fato do sensor HRSC-AX não produzir DTM e pela proposta metodológica prever numa primeira etapa a detecção dos elementos não pertencentes ao terreno, uma alternativa encontrada foi a geração de um DTM à partir de restituição fotogramétrica digital de um

conjunto de fotografias analógicas provenientes de uma câmera aerofotogramétrica convencional baseada em filme.

Através desses dados é possível calcular as diferenças entre o modelo digital de superfície e o modelo digital de terreno (Equação 1), ou seja, gerar o modelo digital de superfície normalizado (nDSM).

$$nDSM = DSM - DTM \quad (1)$$

Através dos valores computados pelo modelo digital de superfície normalizado é possível realizar uma classificação ponto-a-ponto sobre a natureza da elevação dos objetos presentes na cena através do seguinte critério (Equação 2).

$$nDSM = \begin{cases} 1, & \text{se } 1,5m < nDSM \leq \max(nDSM) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

2.3 Caracterização de áreas de vegetação verde

A detecção de áreas de vegetação verde foi feita através do cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) calcula a diferença entre os valores de cinza das bandas adquiridas nas faixas do infravermelho próximo e do vermelho (Equação 3). Os pontos da imagem correspondentes com áreas cobertas por vegetação verde produzem valores elevados (próximos de 1) para o índice NDVI e valores menores para outros elementos. Assim, o NDVI constitui uma forma eficiente de realçar a vegetação verde.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

Após o cálculo do NDVI, foi aplicado um critério de limiarização para segmentar as áreas de vegetação verde. Esse valor de limiar explora os elevados valores do NDVI produzidos para os pontos-imagem associados com vegetação e os baixos valores associados com outros elementos (Equação 4).

$$Vegetação = \begin{cases} 1, & \text{se } 0 < NDVI \leq \max(NDVI) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

2.4 Caracterização de áreas de sombra

A detecção de áreas sombreadas foi feita com base no índice indicador de sombras (IIS) proposto por Nóbrega (2007). Esse índice se baseia na diferença entre os valores de cinza registrados na banda azul (B) e os valores resultantes da aplicação da combinação linear da primeira componente principal (CP1) no espaço de atributos (Equação 5). O cálculo dessa diferença realça os pontos da imagem associados com regiões sombreadas e as demais regiões. Considerando que os valores de brilho nas regiões de sombra da banda azul e da primeira componente principal são muito semelhantes, quando calculadas de acordo com a equação 5, o resultado é uma imagem com maior contraste sobre as áreas sombreadas.

$$IIS = B - PC1 \quad (5)$$

Após o cálculo do indicador de sombra, foram feitas observações empíricas no resultado obtido com o objetivo de se estabelecer um critério de limiarização para a seleção das áreas de sombra (Equação 6).

$$Sombra = \begin{cases} 1, & \text{se } 135 < IIS \leq \max(IIS) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

2.5 Caracterização de áreas de solo exposto

Na caracterização das áreas de solo exposto foi utilizado o índice de solo exposto (*ISE*) proposto por Nóbrega (2007). Esse índice faz uso dos valores de brilho registrados na banda azul (*B*) e os valores resultantes da aplicação da combinação linear da terceira componente principal (*CP3*) no espaço de atributos (Equação 7). A utilização da banda azul permite uma melhoria significativa na separabilidade desses objetos, devido à baixa refletância e a inferior variância do solo exposto nessa banda, quando comparada às demais bandas espectrais.

$$ISE = \frac{(PC3 * B)}{100.00} \quad (7)$$

De maneira análoga ao indicador de áreas de sombra, após o cálculo do indicador de solo exposto, foram feitas observações empíricas no resultado obtido com o objetivo de se estabelecer um critério de limiarização para a seleção das áreas de solo exposto (Equação 8).

$$Solo_Exposto = \begin{cases} 1, & \text{se } 15 < ISE \leq \max(ISE) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (8)$$

3. Resultados e Discussão

Após analisar os resultados obtidos nas componentes principais, observou-se que a primeira componente principal (vista como imagem) contempla todos os objetos existentes nas imagens utilizadas e isso representa 67% de toda a informação contida nas 4 bandas da imagem. Ao analisar a segunda componente principal, observou-se que houve um realce significativo nas áreas sombreadas e pavimentadas com asfalto, porém não se mostrou útil devido ao elevado nível de confusão entre esses elementos. Além disso, a porcentagem de representação dessa componente é de 26%. Na mesma linha de aplicação, a terceira componente, com 5% de representação da imagem, realçou a presença de argila como telhados de cerâmica e solo exposto, mostrando ser útil no processo de segmentação para solo exposto e a quarta componente principal, com apenas 2% de representação da imagem, não se mostrou ser relevante no processo de realce de elementos de interesse deste trabalho. A Figura 3 mostra os resultados obtidos no cálculo das componentes principais.



Figura 3 – Resultados obtidos no cálculo das componentes principais: (a) primeira componente principal, (b) segunda componente principal, (c) terceira componente principal e (d) quarta componente principal.

Após o cálculo do modelo digital de superfície normalizado, observou-se que, conforme apresentado equação 2, foi necessário utilizar o valor de 1,5m como critério de limiarização do nDSM. No caso ideal, se todos os pontos que pertencem ao terreno no modelo digital de superfície coincidisse exatamente com os pontos pertencentes ao terreno no modelo digital de terreno, todos esses pontos no modelo digital de superfície normalizado teriam valores de elevação iguais a zero. Porém, pelo fato dos dados utilizados neste processo (DSM e DTM) possuírem origens e métodos de geração distintos, foi aplicado um valor de limiar de 1,5m para contornar pequenas divergências na projeção da altura dos pontos correspondentes entre o DSM e o DTM e que coincidem com o nível do terreno. Em outras palavras, esse valor de limiar é usado para garantir que os pontos obtidos pela equação 2 pertençam realmente a um objeto que está elevado em relação ao terreno. A Figura 4 mostra a imagem original e o resultado obtido na caracterização de edificações.

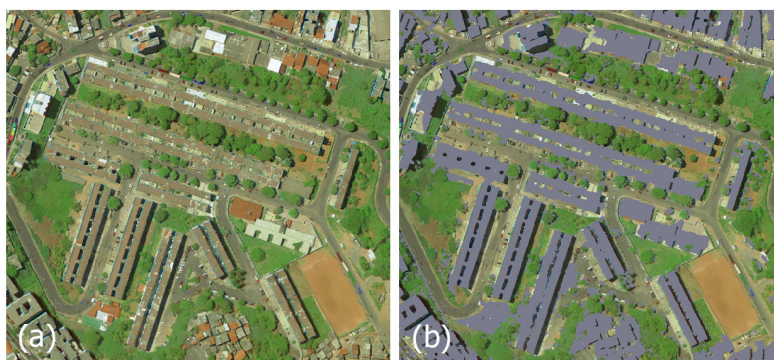


Figura 4 – Resultado obtido na caracterização de edificações. (a) imagem original e (b) edificações existentes na imagem.

Para a caracterização das áreas de vegetação verde, a equação 4 mostra que todos os pontos com valores de NDVI maiores que 0 e menores ou igual ao valor máximo encontrado no próprio NDVI são classificados (com alto nível de confiabilidade) como pertinentes às áreas cobertas por vegetação verde. A vantagem do uso do NDVI está na confiabilidade dos resultados produzidos pelo cômputo desse índice. A Figura 5 mostra a imagem original e o resultado obtido na caracterização de áreas cobertas por vegetação verde.

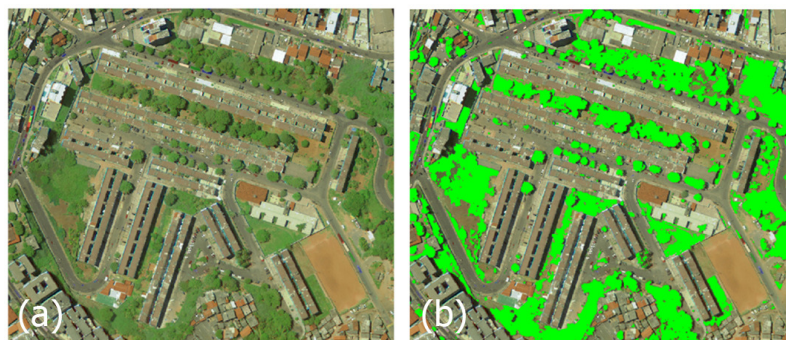


Figura 5 – Resultado obtido na caracterização de áreas verdes. (a) imagem original e (b) áreas de vegetação verde existentes na imagem.

Para a caracterização das áreas de sombras foram utilizadas as equações 5 e 6. Com base no critério apresentado na equação 6, os pontos com valores maiores que 135 e menores que o máximo encontrado são classificados (com alto nível de confiabilidade) como pertinentes às áreas sombreadas. A Figura 6 mostra a imagem original e o resultado obtido na caracterização de áreas sombreadas.

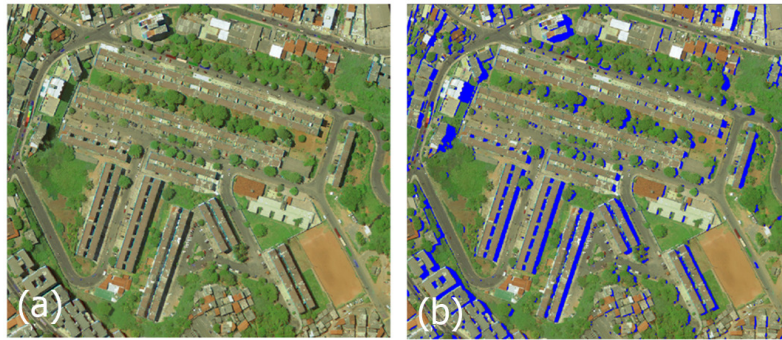


Figura 6 – Resultado obtido na caracterização de áreas sombreadas. (a) imagem original e (b) áreas de sombra existentes na imagem.

De maneira similar às áreas de sombras, para a caracterização das áreas de solo exposto foram utilizadas as equações 7 e 8. Com base no critério apresentado na equação 8, todos os pontos com valores maiores que 15 e menores que o máximo encontrado são classificados (com alto nível de confiabilidade) como pertinentes às áreas de solo exposto. A Figura 7 mostra a imagem original e o resultado obtido na caracterização de áreas de solo exposto.

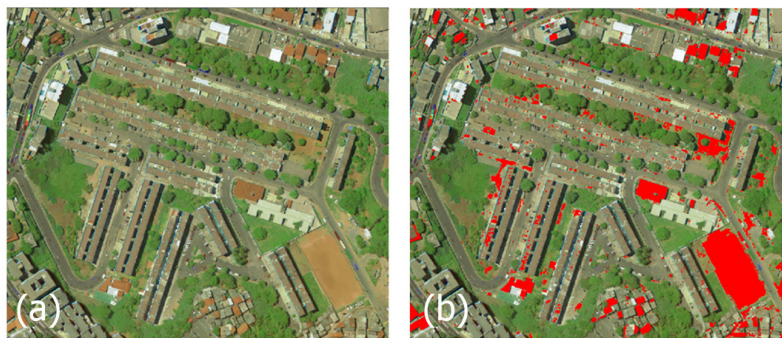


Figura 7 – Resultado obtido na caracterização de áreas de solo exposto. (a) imagem original e (b) áreas de solo exposto existentes na imagem.

Após a caracterização dos objetos urbanos de interesse, ou seja, edificações, áreas de vegetação verde, área sombreadas e áreas de solo exposto, foi gerada uma imagem sintética proveniente do agrupamento das classes de objetos caracterizados. A Figura 8 mostra a imagem original e a imagem sintética resultante da caracterização dos objetos urbanos sobreposta à imagem original.

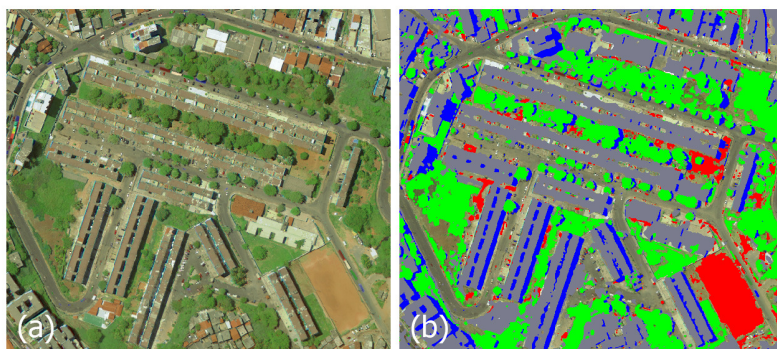


Figura 8 – Resultado obtido na caracterização de objetos urbanos utilizando índices de realce. (a) imagem original e (b) imagem sintética sobreposta à imagem original.

4. Conclusões

Através dos resultados obtidos é possível concluir que a metodologia proposta apresentou resultados satisfatórios na detecção de objetos urbanos como edificações, áreas de vegetação verde, áreas de sombra, além de áreas de solo exposto utilizando índices de realce extraídos dos dados do sensor HRSC-AX.

No caso da caracterização de áreas de edificações, o grande diferencial para o cômputo desse índice foi a disponibilidade de um modelo digital de terreno compatível com o modelo digital de superfície, uma vez que a diferença altimétrica média encontrada entre os modelos esteve abaixo de 1m. Com isso, houve uma grande e confiável discriminação dos objetos antropomórficos presentes na imagem, ou seja, árvores e edificações. Na caracterização das áreas de vegetação, o NDVI mostrou resultados satisfatórios, pois, devido à alta resolução espacial, houve uma grande discriminação das áreas de vegetação verde, ocorrendo inclusive, em pequenas regiões de vegetação presentes entre outros objetos (edificações, por exemplo).

Na caracterização das áreas de sombras e de solo exposto, o grande diferencial para o cômputo desses índices foi o uso das componentes principais, uma vez que a primeira e a terceira componente principal realçaram de forma significativa os objetos de interesse, permitindo assim, uma maior discriminação desses objetos.

Trabalhos futuros prevêem a comparação dessa metodologia com outras técnicas de classificação baseadas em pixel de forma a analisar a aplicabilidade da mesma no contexto da classificação de imagens de alta resolução.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio para a realização dessa pesquisa à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e à Fototerra Atividades de Aerolevantamentos Ltda.

Referências Bibliográficas

CENTENO, J. A. S.; ANTUNES, A. F. B.; TREVISAN, S.; CORREA, F. Mapeamento da áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 55/1, p. 48-56, jul. 2003.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

NEUKUM, G.; HRSC-Team. The airborne HRSC-AX cameras: evaluation of the technical concept and presentation of application results after one year of operations. In: **PHOTOGRAMMETRIC WEEK**, 2001, Stuttgart. **Proceedings...** Stuttgart, 2001.

NOBREGA, R. A. A. **Detecção da malha viária na periferia urbana de São Paulo utilizando imagens orbitais de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos**. 2007. 157 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

POLIDÓRIO, A. M. **Detecção de entidades da paisagem urbana em imagens aéreas multiespectrais**. 2007. 230 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2007.