

# Aplicação de sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização da sub-bacia hidrográfica do ribeirão aricanduva

Hélia Maria Santa Bárbara Pereira <sup>1</sup>  
Giselle Teles<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Secretaria do Verde e Meio Ambiente do Município de São Paulo  
Rua do Paraíso, 387 – 4º andar - 04103-000 – São Paulo - SP, Brasil  
[heliapereira@prefeitura.sp.gov.br](mailto:heliapereira@prefeitura.sp.gov.br)  
[giselle.teles.sp@gmail.com](mailto:giselle.teles.sp@gmail.com)

**Abstract.** The paper refers to the application of techniques and technologies for observing the territory and data processing, involving the remote sensing and GIS, whereas the principle they seem to be compatible with processing speed of urban-environment in which a dynamic area of the municipality of Sao Paulo is set up. It proposes the development of study on a sub-basin of the city of Sao Paulo, Ribeirão called Aricanduva. The study aims at better understanding the dynamics of the territory, to improve the process of planning and urban-environmental actions and interventions that are implemented in the territory. The object of study is located on the outskirts of the city of Sao Paulo, with the presence of remnants of forest and vegetation, its urbanized area is quite significant, and presents a questionable planning for suitability with the environment. The identification of patterns and objects homogeneous in the area object of study was based on the classification process overseen by region. As products of the work two maps were generated for two types of soil permeability of the sub-basin of Ribeirao Aricanduva. It is concluded that the area of sub-basin of Ribeirao Aricanduva still has significant environmental attributes, and is attended statutory restrictions on use and occupancy of the soil there could be a reasonable maintenance of environmental assets consisting of its vegetation and its water network. But by observing the extent of what is "outside the law" there afere that the sub-basin area is quite vulnerável the impact of a precarious urbanization.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, planning and urban-environmental, sensoriamento remoto, processamento de imagens, planejamento urbano-ambiental.

## 1. Introdução

Desde o início da idealização do trabalho destaca-se nosso interesse na capacitação técnica para utilização de imagens de satélite, como uma possibilidade de aprofundar a leitura do tempo e espaço urbano no município de São Paulo.

Na fase projectual do trabalho idealizou-se a realização de um estudo sobre as áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do rio Aricanduva com a utilização de imagens orbitais de média resolução, para identificar as áreas urbanizadas e não urbanizadas, os vazios urbanos e as ocupações não urbanas. Propunha-se uma qualificação da ocupação urbana e dos espaços vazios até o limite do possível da resolução das imagens.

Complementarmente idealizou-se a utilização das imagens orbitais de alta resolução, para atender à demanda de análise mais detalhada do território, quanto uma melhor qualificação das áreas, com a identificação das tipologias de uso e ocupação do solo das áreas urbanizadas e não urbanizadas, das tipologias dos espaços vazios, das tipologias da vegetação e das tipologias de permeabilidade do solo.

O recorte proposto para estudo, Áreas de Preservação Permanente, originou-se da controvérsia do tema no Município de São Paulo.

Produto da lei federal 4.771 de 15 de setembro de 1965 que instituiu o Código Florestal, nela foi considerado de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de outro qualquer curso d'água; ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água, naturais ou artificiais; nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50m de largura; no topo de morros, montes, montanhas, serras; nas encostas com declividade superior a 45°; nas restingas como fixadoras e dunas ou

estabilizadoras de mangues; nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 m em projeções horizontais; em altitude superior a 1800m, qualquer que seja a vegetação

A resolução Conama 369/2006 dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APP.

No município de São Paulo tem-se efetivamente uma grande limitação para a preservação e proteção de áreas junto aos cursos d'água, seja do ponto de vista da drenagem, seja do ponto de vista de vegetação, seja do ponto de vista paisagístico. Encontra-se no Plano Diretor Estratégico – PDE (lei 13.430/2001). Porém, a atuação sobre as APPs requer uma melhor compreensão sobre seu significado no meio urbano. Acredita-se que seja pertinente identificar as referências e parâmetros que fundamentam a delimitação das áreas de preservação permanente, para contribuir na formação de um consenso nas diferentes áreas setoriais do município, tanto sobre “*quais*” as áreas de demandam maior ou menor grau de proteção ou preservação, quanto sobre “*como*” fazer a proteção ou preservação.

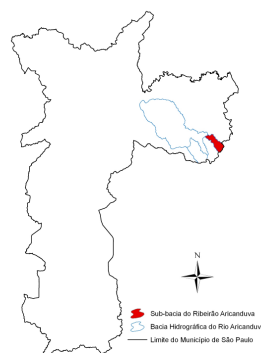
Ressalta-se que o *significado* das APPs na área urbana deve ser construído a partir de estudos da unidade geográfica da qual elas são integrantes, que se constitui na bacia hidrográfica. Propõe-se neste trabalho o desenvolvimento de estudo em uma bacia hidrográfica do município de São Paulo. Em vista da demanda de intervenções sobre a região leste do Município considerou-se pertinente estudar a bacia hidrográfica do rio Aricanduva, porém verificada a dimensão desta bacia, em torno de 101 km<sup>2</sup>, propõe restringir o estudo para umas das suas sub-bacias, denominada Ribeirão Aricanduva.

O objetivo geral do trabalho é aprimorar o planejamento e a gestão do uso e ocupação do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Aricanduva, mediante o aprofundamento do conhecimento deste território, com a utilização de produtos de sensoriamento remoto e de geoprocessamento. Os objetivos específicos são: observar a dinâmica de uso e ocupação do solo de territórios submetidos à proteção legal de preservação ambiental; promover a capacitação técnica para utilização de ferramentas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento; identificar uma metodologia de trabalho, com sensoriamento remoto e geoprocessamento, passível de aplicação em outras bacias hidrográficas do mun de São Paulo.

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo abrange a sub-bacia hidrográfica do córrego Ribeirão Aricanduva, que possui área aproximada de 5,92 km<sup>2</sup>. Como se pode observar na *figura 1* esta sub-bacia localiza-se na região leste do município de São Paulo, e integra a bacia do córrego Aricanduva, cuja área é de aproximadamente 101 km<sup>2</sup>.



2.2. Ma *Figura 1 – Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do córrego Ribeirão Aricanduva*

#### 2.2.1. Imagens de Satélite

As experiências de uso de imagens satélites em áreas urbanas remetem para as imagens provenientes dos sensores de alta resolução, de onde é possível obter produtos com alcance em torno de 1m<sup>2</sup>. Assim a utilização de imagem de alta resolução passou a ser uma condição básica para o desenvolvimento do trabalho. No desenvolvimento do trabalho utilizou-se imagens do satélite IKONOS II, cedida pelo Instituto Geológico.

### 2.2.2. Base cartográfica e Equipamentos

A base cartográfica utilizada é a do Mapa Digitalizado da Cidade de São Paulo – GEOLOG 2.1.2 (Geocodificação de logradouros), que se constitui em uma ampliação, para a escala 1:5.000, da restituição do levantamento aerofotogramétrico realizado em 1972 na escala 1:10:000. Os arquivos do Autocad estão em coordenadas planas Este (E) e Norte (N) no sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (U.T.M.), referenciada ao elipsóide de Hayford (semi-eixo maior  $a=6.378.388,0$  m, achatamento  $\alpha=1/297,0$ ), datum Córrego Alegre (altura geoidal  $N_0=0$ ), meridiano central 45° (fuso 23).

Em função dos recursos materiais disponíveis na elaboração do trabalho utilizou-se basicamente dois programas, o SPRING 4.3.2 para o processamento digital das imagens e o AUTOCAD MAP 2008 para o tratamento de dados vetoriais. Além destes utilizou-se o ARC GIS para a formatação dos mapas.

## 2.3. Procedimentos metodológicos

### 2.3.1. Definição das classes de cobertura do solo

O reconhecimento de tipologias de uso, de ocupação e de cobertura do solo na área de estudo fundamenta-se na legislação pertinente ao assunto, na leitura de bases cartográficas e de fotos aéreas e em incursões ao campo realizadas no período entre 2003 e 2007. Estas incursões tiveram o propósito de realizar uma caracterização urbanística-ambiental da região leste do município de São Paulo, trabalho que foi motivado pela previsão de um conjunto significativo de intervenções na região, por parte de setores da administração pública municipal e também pelo Plano Diretor Estratégico – PDE e pelos Planos Regionais Estratégicos - PREs das Subprefeituras de São Mateus, Cidade Tiradentes e Itaquera.

Inicialmente a definição das classes de uso do solo foi realizada com base em uma sintetização das categorias e subcategorias de uso previstas na legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo que incidiu sobre a área objeto de estudo no período entre 1981 - 2004 e na legislação atual, em vigor desde fevereiro de 2005. Salienta-se que estes usos ocorrem em áreas configuradas como terreno urbano ou rural, onde se aplica um conjunto de regras determinantes da forma de ocupação física, das quais destaca-se a dimensão mínima, a taxa de ocupação máxima e o coeficiente de aproveitamento máximo do terreno.

No entanto, as categorias e subcategorias de uso do solo não envolvem todo o universo de elementos que se encontra no território. Conforme descreve Santos (1997) este universo refere-se a uma configuração territorial “formada pela constelação de recursos naturais, lagos, rios, planícies, montanhas e florestas e também de recursos criados: estradas de ferro e de rodagem, condutos de toda ordem, barragens, açudes, cidades, o que for.”

De acordo com Hamburger & Foresti (1997) estes elementos são usualmente identificados em referências bibliográficas como “cobertura”. Adotando-se este princípio foi elaborada uma descrição de categorias de cobertura do solo presentes na área de estudo, tais como, **água, solo exposto e vegetação**.

Também foram identificados dois outros importantes elementos do território em estudo, o primeiro corresponde à **rede viária** que é destinada para a circulação de pessoas e mercadorias e se constitui em significativo elemento estruturador do espaço urbano e o segundo corresponde à atividade praticada prioritariamente na área rural que é a **agricultura**.

Do acúmulo de informações obtidas para o local, por bases cartográficas, fotos aéreas, e visitas constatou-se que havia de dificuldade de distinguir um padrão para parte dos usos elencados, como comércio e serviços, que são âmbito local, de pequeno porte e se confundem com as residências, além da homogeneidade de material de cobertura das construções para diferentes usos. Assim optou-se por agregar as categorias de uso do solo, em uma única categoria de cobertura do solo identificada como **Edificações**. Avaliou-se também que seria possível desagregar duas das categorias de cobertura do solo: água em **Lagos** e em **Rios e córregos** e, vegetação em **Vegetação arbórea** e **Vegetação rasteira**, diante da clara configuração de cada uma destas tipologias.

Existe ainda um outro elemento que integra o espaço, dinamicamente, e que se não se enquadra como categoria de uso ou de cobertura do solo. Trata-se da sombra, cuja projeção é definida pela incidência de luz em determinado espaço (posicionamento geográfico) e tempo (época do ano, horário) e pela forma do obstáculo que está à sua frente. Apesar desta não se constituir em categoria de uso e cobertura do solo é fundamental que na análise do território, com a utilização de sensoriamento remoto, ela seja integrada como um componente. Adiante verifica-se que o elemento **Sombra** foi considerado na classificação digital das imagens IKONOS, porém está claro que ele não se constitui em classe de uso e ou de cobertura do solo. Com definição dos elementos de análise do território considerou-se mais adequado enquadrá-los em *Classes de Cobertura do Solo*.

### **2.3.2. Processamento digital das imagens**

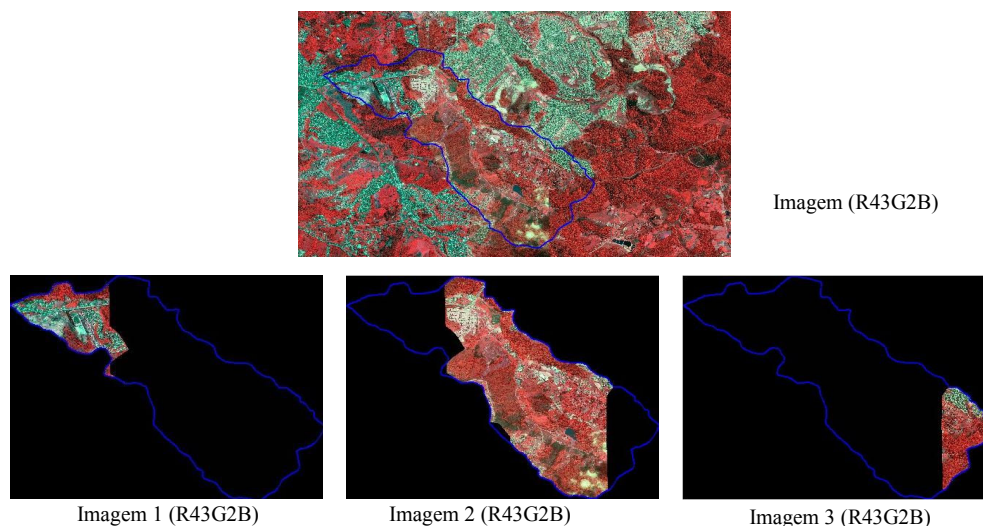
De acordo com o INPE (2008) o processamento digital de imagens é constituído por etapas independentes, correspondentes ao pré-processamento, realce e classificação.

O pré-processamento refere-se à manipulação dos dados brutos da imagem para calibração radiométrica, correção geométrica e eliminação de ruídos. O realce refere-se à manipulação no contraste da imagem, com a finalidade de facilitar o reconhecimento de padrões e objetos. A classificação refere-se à extração de informação da imagem para reconhecer padrões e objetos homogêneos.

Considerando que as imagens utilizadas já haviam sido pré-processadas partiu-se para realização da segunda etapa de processamento, a aplicação de realce.

Num primeiro exercício de aplicação de realce do contraste na composição (R4G3B2) - Ver imagem da Composição Colorida (B) para a banda 2, (G) para a banda 3 e (R) para a banda 4 (infravermelho) - verificou-se que a banda 4, infravermelho, permanecia com a resolução radiométrica original de 11 bits, e as bandas 3 e 2 com a resolução de 8 bits. Além disso, constatou-se que na área de estudo, a cena era composta por um mosaico de três imagens.

Assim foi necessário preparar a imagem para realizar a manipulação do contraste, com a conversão da banda 4, infravermelho, para 8 bits e execução do recorte da cena em três imagens, conforme *figura 2*.



**Figura 2 – Imagens recortadas**

Na seqüência foi aplicada em cada uma das três imagens a técnica realce do contraste por transformação linear, onde a função de transferência é uma reta, e se permite o controle de inclinação da reta, para determinar o aumento do contraste e o controle do ponto de intersecção com o eixo X, que determina a intensidade média da imagem.

### **2.3.3. Classificação orientada por regiões**

A identificação de padrões e objetos homogêneos na área objeto de estudo foi realizada com base no processo supervisionado de classificação por região. Conforme a descrição do INPE (2008) os classificadores por região utilizam a informação espectral de cada pixel e a informação espacial, que considera a relação entre os pixels e seus vizinhos. Neste processo busca-se “simular o comportamento de um foto-interprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com a mesma textura.”

O processo de classificação orientada por região é composto pelas etapas de segmentação da imagem e da classificação propriamente dita. A etapa de segmentação da imagem tem a função de agrupar os pixels da imagem que são contíguos, que possuem uniformidade e que se espalham bidirecionalmente, para então formar uma região. Este procedimento é realizado com base na análise dos níveis de cinza da imagem.

Nas três imagens recortadas utilizou-se a técnica de *crescimento de região*, que inicialmente rotula cada pixel como uma região para inicialmente gerar uma divisão da imagem em regiões (conforme o limiar de similaridade) e depois gerar uma união de regiões (conforme o limiar de agregação).

Após o teste com diferentes valores de similaridade e área optou-se por utilizar na segmentação das três imagens o limiar de similaridade de 30 pixels e o limiar de agregação com área de 60 pixels, resultando numa boa configuração de separabilidade dos objetos presentes na imagem.

Para realizar a classificação criou-se um arquivo de *Contexto*, para armazenagem das bandas que serão processadas. Neste estudo foram gerados três arquivos de Contexto, um para cada uma das três imagens recortadas.

Cumprindo a seqüência de passos para a realização da classificação foi realizada uma amostragem em cada uma das imagens segmentadas em relação às classes de cobertura do solo que haviam sido definidas no estudo. As amostras de treinamento foram selecionadas de

acordo com seu grau de representatividade das classes: Lagos, Rios e Córregos, Vegetação arbórea, Vegetação rasteira, Rede viária, Edificações, Agricultura, Solo exposto e Área sem identificação.

Esta última classe de cobertura foi posteriormente agregada ao conjunto de classes, devido à impossibilidade de se reconhecer as feições de alguns fragmentos (manchas) das imagens. Talvez feições pudessem ser caracterizadas como área de queimada, porém não houve oportunidade para se realizar um levantamento bibliográfico sobre o assunto e decidiu-se considerá-las como área sem identificação.

Após a seleção das amostras de treinamento no modo *Teste* que são utilizadas como parâmetro de qualidade das amostras no modo *Aquisição* que efetivamente são consideradas na classificação, realizou-se uma análise das mesmas e na medida do possível estas foram melhoradas antes de processar a classificação. Com base na análise das amostras-*teste* verifica-se que na classificação, de cada uma das imagens, houve um desempenho médio acima de 85% (imagem 1- 90,72%, imagem 2 – 85,32% , imagem 3 – 96,07%), que pode ser considerado como um bom desempenho.

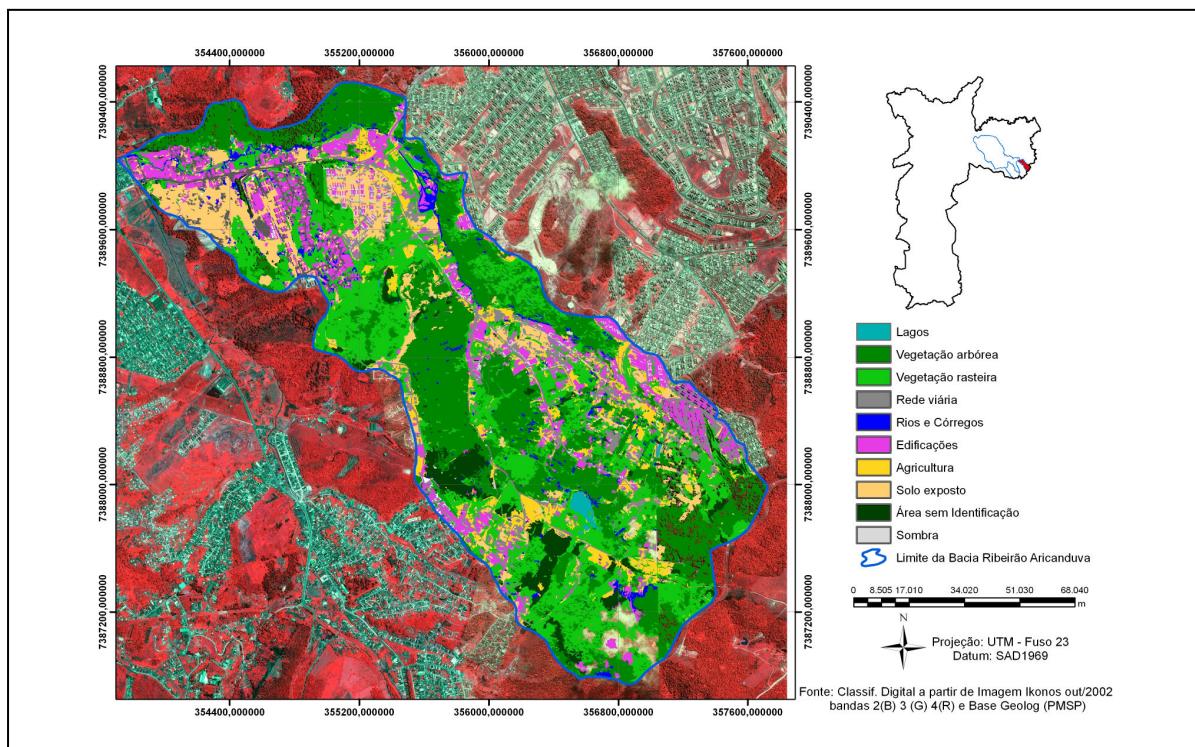
Vencida a etapa de obtenção e análise das amostras, o passo seguinte foi realizar a classificação com a utilização do classificador Battacharya. Este processamento é executado a partir das amostras de treinamento do modo *aquisição*, para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais.

Para gerar um enquadramento das regiões similares em classes o algoritmo do classificador Battacharya mede a distância média das distribuições de probabilidades de classes espectrais. O processo de classificação foi realizado para cada uma das três imagens recortadas, com 90% de limiar de aceitação da classificação.

Na *tabela 4* encontra-se a quantificação de área (*em km<sup>2</sup>*) e a respectiva proporção da área total (*em %*), para cada uma das classes de cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Aricanduva e na *figura 3* visualiza-se seu respectivo mapa.

<b>Área total das classes - imagens 1, 2 e 3</b>		
<b>CLASSES</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Proporção (%)</b>
<b>vegetação arbórea</b>	1,806816	30,53%
<b>vegetação rasteira</b>	1,557481	26,31%
<b>edificações</b>	0,571013	9,65%
<b>lagos</b>	0,02481	0,42%
<b>rios e córregos</b>	0,12897	2,18%
<b>solo exposto</b>	0,517052	8,74%
<b>sombra</b>	0,17811	3,00%
<b>rede viária</b>	0,528276	8,92%
<b>agricultura</b>	0,316355	5,34%
<b>área sem identificação</b>	0,252911	4,27%
<b>Total das Classes</b>	<b>5,881794</b>	<b>99,37%</b>
<b>área total não classificada</b>	0,037305	0,63%
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>5,919099</b>	<b>100%</b>

*Tabela 4 – Quantificação da área das classes*



*Figura 3 – Mapa temático de cobertura do solo*

## 5. Resultados e discussões

Do resultado da classificação conclui-se que um pouco mais da metade (56,84%) do território da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Aricanduva é ocupado por vegetação. A agricultura ocupa apenas 5,34% da área e os cursos d'água menos ainda, somente 2,60%. Reunidas estas três classes, que são originárias da natureza ou de ação antrópica de pequeno impacto ambiental e, que atualmente busca-se preservar ou recuperar se tem 64,78% do território. Apesar das edificações ocuparem menos de um décimo (9,65%) da área da sub-bacia, se a esta classe for associada a área ocupada pela rede viária (8,92%) e pelo solo exposto (8,74%) fica totalizada em 27,31% a ocupação que tende a ser mais impactante no meio físico. Este trio de classes (edificações – rede viária – solo exposto) também pode ser considerado como representativo de uma tendência de expansão urbana na área da sub-bacia do ribeirão Aricanduva. Considera-se também com um aspecto negativo a existência de uma área sem identificação com uma porcentagem de 4,27%. Neste caso deve-se aprofundar a pesquisa de campo e de fundamentação teórica para o reconhecimento da área.

Para a classificação supervisionada de imagens de satélites considera-se conveniente que no período de imageamento do sensor seja realizado trabalho de campo para leitura do uso e cobertura do solo existente na área de interesse. Segundo Crosta “esse tipo de observação é conhecido como verdade terrestre (ground truth). Essas áreas podem então ser usadas como padrão de comparação, com a qual todos os pixels desconhecidos da imagem serão comparados para se decidir a qual classe pertence.”

O resultado da unificação das 3 imagens classificadas em um único mapa apresenta um bom grau de continuidade de classes entre os recortes. Porém isto não releva os problemas de se operar com o mosaico de imagens sem que haja a descrição das características de obtenção e de pré-processamento de cada imageamento.

Como produtos resultantes do trabalho foram gerados dois mapas referentes a duas possibilidades de permeabilidade do solo da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Aricanduva.

No Mapa de Áreas Permeáveis e Impermeáveis 1 a classe solo exposto foi considerada como área impermeável por dois motivos: Primeiro considerou a hipótese de que a presença de solo exposto é um indicador do processo de expansão urbana e que passados mais de quatro anos entre a obtenção da imagem e a atualidade esta área teria sido impermeabilizada, o segundo motivo foi pela falta de informação sobre o grau de permeabilidade do solo existente na área classificada como solo exposto. Contabilizando-se as classes vegetação arbórea, vegetação rasteira, rios e córregos, agricultura e área sem identificação (que não apresenta feições de solo exposto) obtém-se 69,05 % do território como área permeável.

No Mapa de Áreas Permeáveis e Impermeáveis 2 a classe solo exposto foi considerada como área permeável, totalizando 77,79%.

Do presente estudo conclui-se que a área da sub-bacia do Ribeirão Aricanduva ainda possui atributos ambientais significativos, e que se atendidas as restrições legais de uso e ocupação do solo poderia haver uma manutenção razoável do patrimônio ambiental constituído pela sua vegetação e pela sua rede hídrica. Porém ao se observar a extensão do que está “fora da lei” naquele território afere-se que a área sub-bacia está bastante vulnerável ao impacto de uma urbanização precária.

Quanto aos instrumentos de sensoriamento remoto e geoprocessamento avalia-se que há muito que explorar deste universo para o aperfeiçoamento dos resultados. Considera-se essencial a articulação e integração entre a Universidade e a Administração Municipal Direta, no caso a Secretaria do Verde e Meio Ambiente para a realização de novos estudos e aprimoramento deste.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, R. A.L.; VERGARA, O.R. **Identificação de alvos urbanos em imagens Ikonos, aplicando classificação orientada a segmentos.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. INPE, p. 2573-2580.

CAMARA, G.; SOUZA R.C.M.; FREITAS U.M.; GARRIDO J COMPUTERS & GRAPHICS. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling.**, mai-jun 1996. INPE, 20: (3) 395-403, ["SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: \(3\) 395-403, May-Jun 1996.](#)

COSTA, S.M.F.; FREITAS, R.N.; MAIO, A.C. **O Estudo de Aspectos do Espaço Intra-Urbano Utilizando Imagens CBERS.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. INPE, p. 881-889.

GONÇALVES, C.D.A.B.; PEREIRA, M.N.; SOUZA, Í. M. **Uso de imagens CBERS para mapeamento de uso do solo urbano como subsídio ao planejamento.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. INPE, p. 969-977.

HAMBURGER, D.S.; FORESTI C. **Classificação do uso do solo urbano em imagens SPOT.** In Geografia vol. 22 (1): 51-79, abril 2007. Rio Claro: São Paulo.

ISHIKAWA, M.I. **Potencialidades de uso de imagens IKONOS/Geo para aplicações em áreas urbanas.** Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Unesp. Presidente Prudente, 1998.