

## Extração de cobertura arbórea intra-urbana de imagens de alta resolução

Tiana Carla Lopes Moreira<sup>1</sup>  
Demóstenes Ferreira da Silva Filho<sup>1</sup>  
Jefferson Lordello Polize<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Caixa Postal 09 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
tianacarla@yahoo.com.br  
{jpolize ,dfsilva}@esalq.usp.br

**Abstract.** The Urban Forestry studies have a lot importance to planning, management and research the presence of trees in the city. Those trees help cities to keep a good maintenance of microclimate, aesthetic landscape, flood control, pollution reduction and others. The usually measures of green spaces contain trees but also the lawn, parks, home gardens, public gardens and squares without distinction. São Paulo city have some quarters with a good tree cover and others so few. Its important realize that tree cover is concentrated in the rich quarters and the poor quarter it's not so good, even so, the rich quarters have a low biodiversity. The remote sensing give to us the disction between diferents classes of vegetation and a measure of tree cover.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, urban forestry, tree cover sensoriamento remoto, processamento de imagens, floresta urbana, cobertura arbórea.

### 1. Introdução

A cidade de São Paulo possui 1.523 km<sup>2</sup> de área e 760km<sup>2</sup> de área verde aproximadamente (Atlas ambiental do município de São Paulo, 2002), mas esta área não apresenta distinção entre cobertura arbórea e cobertura vegetal, onde toda a área verde em questão é referente a áreas de jardins públicos e particulares, arborização urbana, praças, parques. E este número também se refere às áreas de parques e áreas de preservação e não apenas a arborização urbana.

São Paulo necessita de vegetação para diminuir os efeitos da temperatura, aumentar a retenção da água diminuindo os efeitos de inundações, melhorar o microclima, a qualidade do ar e da água e a estética paisagística.

O município é dividido em regiões, estas por sua vez em subprefeituras que são divididas novamente em distritos (bairros).

Existe uma concentração de áreas verdes e a distribuição do verde viário é desigual.

É possível notar que as ruas mais arborizadas se concentram em bairros habitados pela classe média-alta (Atlas ambiental do município de São Paulo, 2002), já naquelas ocupadas pela população mais carente a arborização é precária, pois as ruas e as calçadas são estreitas e o recuo mínimo das casas não é respeitado, dificultando o crescimento das árvores.

Mesmo nas áreas mais arborizadas é possível notar que existe uma baixa diversidade e as espécies são basicamente: Tipuanas, Sibipirunas, Paineiras, Ipês, Paus-ferro, Jacarandás-mimosos, Quaresmeiras, Manacás-da serra, Cássias, entre outras.

Outro fator importante é a presença de fiação telefônica e elétrica, no subsolo as redes de distribuição de água, gás e coleta de esgoto; na superfície os postes, placas e guias rebaixadas e no nível da copa, tornam a presença arbórea complicada.

## 2. Área de estudo

Segundo o IBGE (2005), o Município de São Paulo (SP) situa-se entre as coordenadas geográficas 23°32'51"S de latitude e 46°38'10"W de longitude de Greenwich, possui uma área de 1.523 km<sup>2</sup> e a sua altitude média é de 760 m acima do nível do mar.

É cortada pelo Rio Tietê, tendo como principais afluentes os rios Pinheiros e Tamanduateí e a população estimada de 10.927.985 (IBGE, 2005).

Está dividido em 31 subprefeituras e 96 distritos. Faz limite com os municípios de Caieiras e Mairiporã ao norte, Guarulhos a nordeste, Itaquaquetuba, Poá e Ferraz de Vasconcelos a leste, Mauá, Santo André, São Caetano do Sul, São Bernardo do Campo e Diadema a sudeste, São Vicente, Mongaguá e Itanhaém a sul, Juquitiba, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Embu, Taboão da Serra, Cotia e Osasco a oeste e Santana de Parnaíba e Cajamar a noroeste.

Os distritos (bairros) estudados são Itaquera, localizado na região leste do município, Vila Leopoldina na região oeste e Bom Retiro na região central e possuem uma população estimada de 201.512, 26.870 e 26.598 respectivamente (Atlas ambiental do município de São Paulo, 2002).

O clima de São Paulo é subtropical (tipo Cwa segundo Köppenn), com médias anuais de 19°C.

## 3. Métodos

As imagens utilizadas no trabalho foram captadas pelo satélite Ikonos, satélite comercial de alta resolução com capacidade de imageamento com resolução espacial de 1 metro de lado de pixel. Seu sistema sensor capta imagens no modo pancromático e multiespectral. A combinação de imagens preto e branco com dados multiespectrais gera imagens coloridas, facilitando a interpretação visual e substituindo muitas vezes o uso de fotografias aéreas.

A resolução espectral do sensor pancromático na banda pan é de 0,45 - 0,90µm e a resolução espacial é de 1 metro. O sensor multiespectral tem as resoluções espectrais na banda azul de 0,45 - 0,52µm, na verde de 0,52 - 0,60µm, na vermelha de 0,63 - 0,69µm, e no infravermelho próximo de 0,76 - 0,90µm e uma resolução espacial de 4 metros.

Estas imagens foram cedidas pelo Instituto Geológico, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo. As imagens foram tiradas no ano de 2002 e cada cena comporta uma área de 5 x 5 km. Foram fornecidas no formato geotiff nas bandas azul (blue), vermelho (red), verde (green), infravermelho próximo (NIR) e na composição vermelho-verde-azul (RGB).

### 3.1 Preparação das imagens

Foram utilizadas quatro cenas diferentes, sendo duas para o mosaico do bairro de Itaquera e uma para o bairro Bom Retiro e outra para o bairro Vila Leopoldina. Cada cena do Ikonos cobre uma área de 5 km X 5 km.

### 3.2 tratamento das imagens

Análises de *pixel* do mosaico de parte dos bairros foram elaboradas para determinação da resolução radiométrica. Os valores de pixel foram desmembrados e estudados nos espectros "R" (infravermelho próximo), "G" (verde) e "B" (azul), utilizando-se o programa de geoprocessamento Microimages TNT Mips versão 7.2, objetivando um erro mínimo na classificação e mensuração das áreas intra-urbanas e seus componentes. As cenas foram recortadas por meio dos vetores dos bairros para extração das áreas.

### 3.3 Elaboração de classificação supervisionada

Foi elaborado um treinador com as seguintes classes:

**Tabela 1:** Classes empregadas no pacote treinador

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Copa de árvore     | Telha escura        |
| Relvado            | Telha metálica      |
| Solo exposto claro | Solo exposto escuro |
| Piso cimento       | Rio                 |
| piscina            | Lago/lagoa          |
| Telha cerâmica     | Sombra              |
| Telha cinza        | Asfalto             |

#### 3.3.1 Classificação de imagens e sua validação estatística

Para avaliar estatisticamente a exatidão do mapeamento temático utilizou-se a estatística Kappa, obtida pelo programa de geoprocessamento da microimages TNT Mips versão 7.2, conforme descrito em Landis e Koch (1977) e Moreira (2003).

Por meio da construção de uma matriz de erro foi possível a utilização de técnicas de análise multivariada para determinar a concordância da classificação (mapeamento temático) com a verdade terrestre. Em sensoriamento remoto é muito comum o uso da estatística Kappa para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, obtida por meio da confecção de um segundo treinador chamado auditor, que pode ser obtido a partir da interpretação visual das imagens multiespectrais e de visitas aos locais imageados (verdade terrestre). A grande vantagem dessa estatística é que no coeficiente Kappa incluem-se todos os elementos da matriz de erro e não somente os elementos da diagonal principal, como no caso da exatidão geral (Congalton, 2001; Moreira, 2003)

O índice Kappa de precisão possui a seguinte classificação:

**Tabela 2:** Índice kappa de precisão.

| <b>Índice kappa</b>       |
|---------------------------|
| < 0% Pobre                |
| 0% – 20% Muito leve       |
| 21% - 40% Leve            |
| 41% - 60% Moderado        |
| 61% - 80% Substancial     |
| 81% - 100% Quase perfeito |

#### 3.4.1 Classificação com uso de treinadores

Foram elaboradas classificações supervisionadas do mosaico e das imagens dos bairros usando o algoritmo da máxima verossimilhança. Confeccionou-se o treinador e auditor, para o mosaico e um único conjunto de treinamento e auditoria para as imagens dos bairros. Após esta etapa procedeu-se a classificação do mosaico. Para averiguação da exatidão dos mapeamentos temáticos foram confeccionadas matrizes de erro, dendrogramas por distância euclidiana e usado o índice de precisão Kappa (LANDIS & KOCH, 1977).

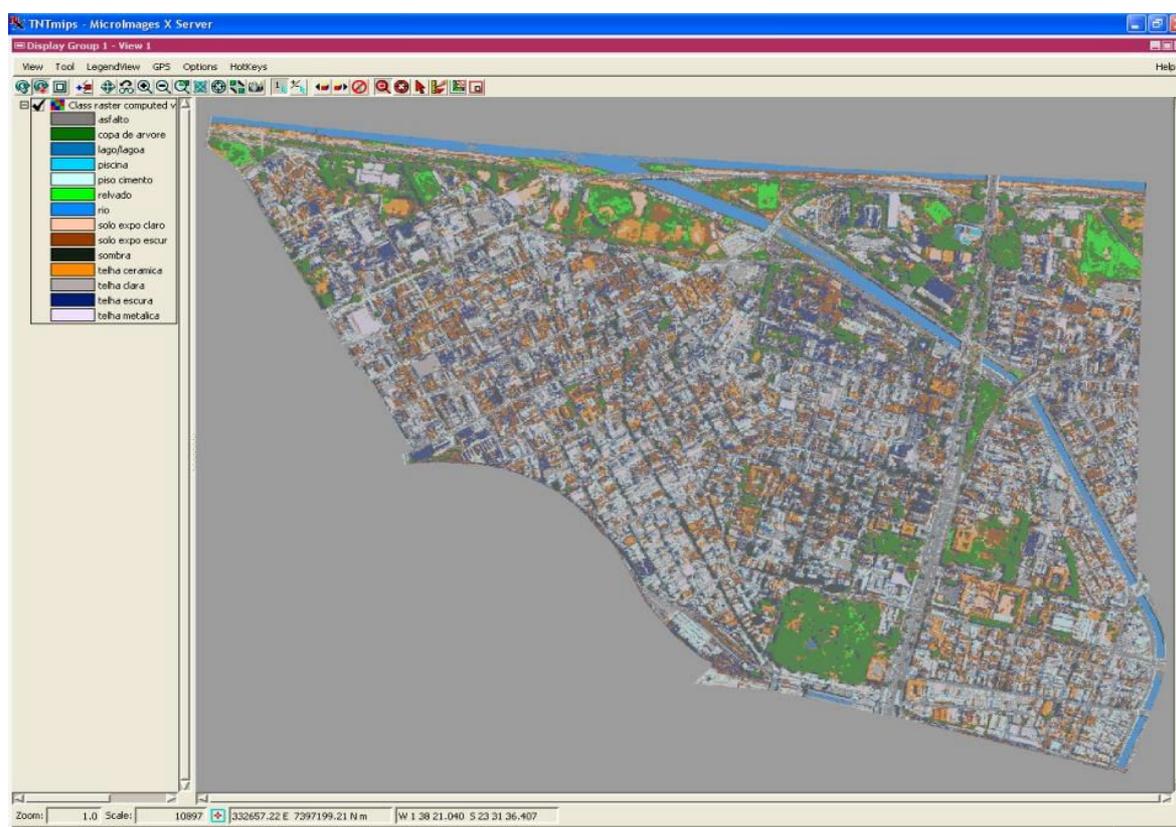
### 4. Discussão e resultados

Os índices kappa encontrados nos três bairros demonstram que a precisão da classificação realizada é muito próxima da realidade, sendo quase perfeito.

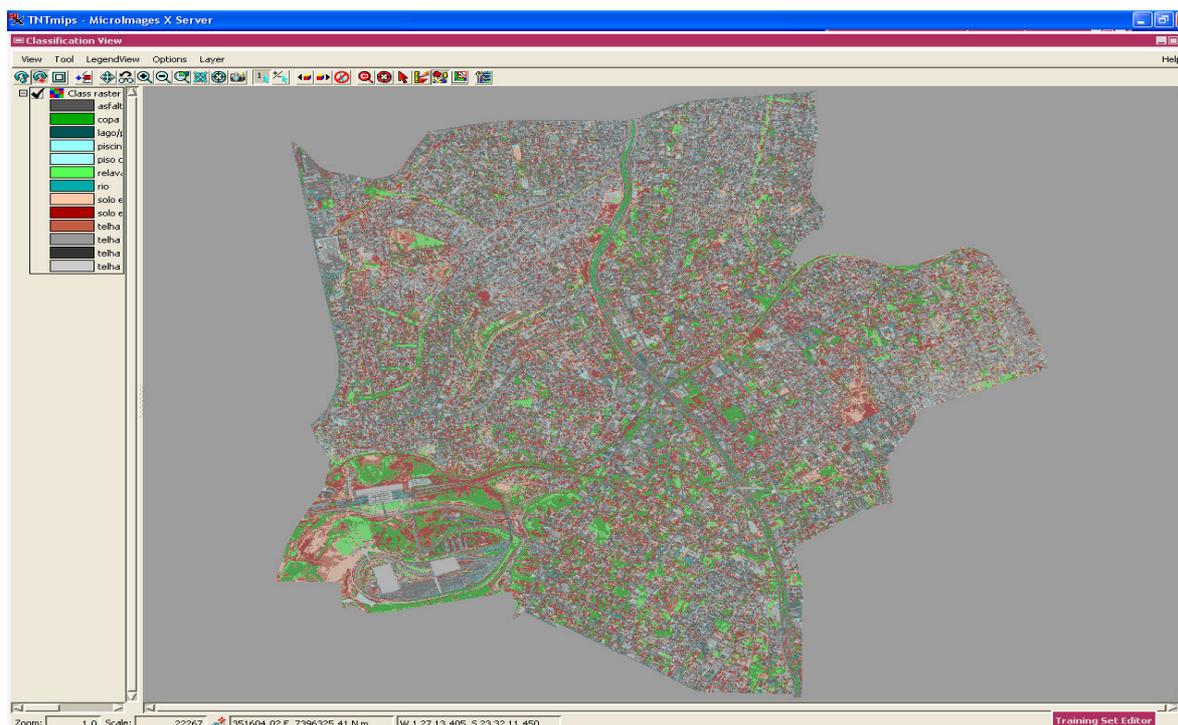
Para estabelecer uma relação entre a cobertura arbórea e as condições sócio econômicas dos bairros utilizou-se do índice de desenvolvimento humano que utilizado e concebido pela ONU para avaliar as condições de vida da população. Conforme observado na tabela 3.

**Tabela 3.** Cobertura arbórea dos bairros e IDH

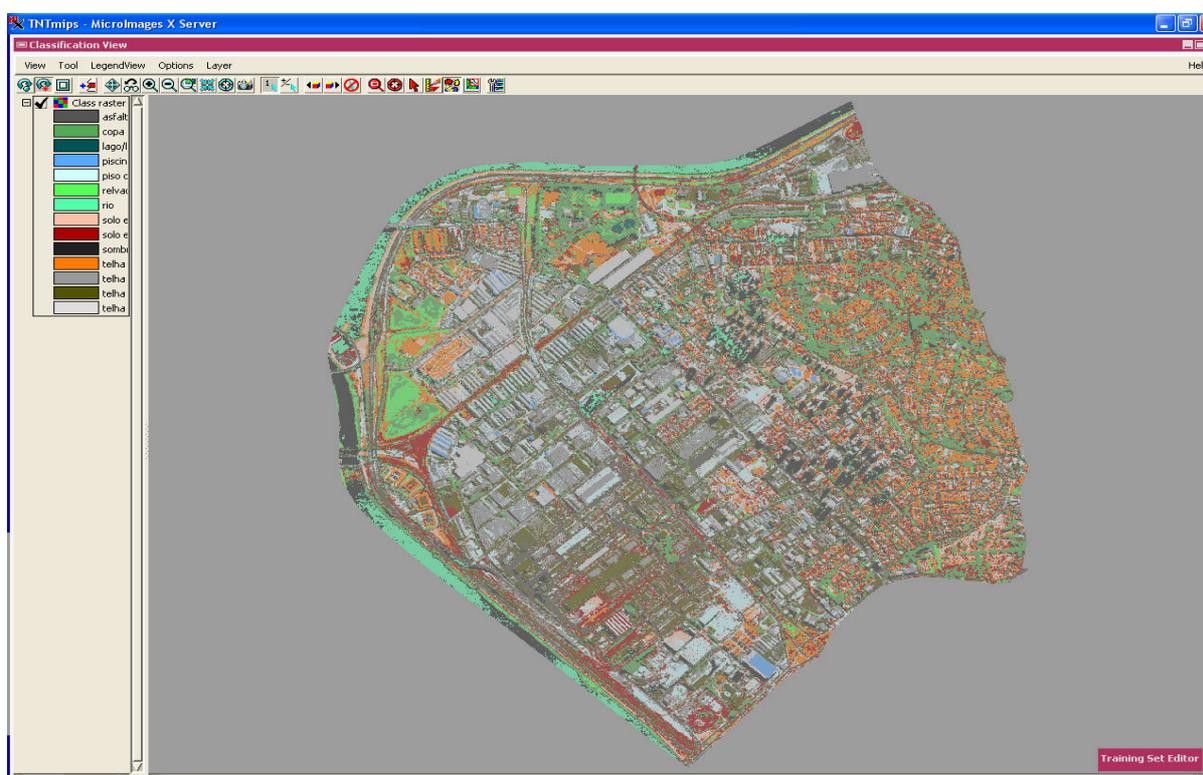
| Bairro          | Índice Kappa | Cobertura arbórea | IDH         |
|-----------------|--------------|-------------------|-------------|
| Vila Leopoldina | 86,46%       | 12,44%            | 0,650-0,620 |
| Itaquera        | 91,09%       | 10,82%            | 0,490-0,460 |
| Bom Retiro      | 93,83%       | 9,87%             | 0,840-0,810 |



**Figura 1.** Classificação do bairro Bom Retiro.



**Figura 2. Classificação Itaquera.**



**Figura 3. Classificação Vila Leopoldina.**

As classes já citadas anteriormente se caracterizam como índices propostos por Silva Filho (2004) Espaço Livre Impermeável, Espaço Livre Permeável, Espaço Livre Vegetado e Espaço Construído. Foi determinado ainda o Índice de Floresta Urbana (IFU), um indicador

para valorização de espaços arborizados relacionados com os outros constituintes do espaço intra-urbano, tais como ruas, calçadas, quadras, casas e edifícios.

O Índice de Floresta Urbana é obtido por meio do cálculo:

$$IFU = PAI + PAC$$

Sendo PAI (proporção entre Espaço Arborizado e Espaço Livre Impermeável) e PAC (proporção entre Espaço Arborizado e Espaço Construído) podem ser obtidos por meio das seguintes fórmulas:

$$PAI = \frac{ELA}{(ELA + ELI)} \quad PAC = \frac{ELA}{(ELA + EC)}$$

Onde ELA representa o Espaço Livre Arborizado, ELI o Espaço Livre Impermeabilizado e EC o Espaço Construído.

Os valores encontrados no treinador, suas proporções e quantificações foram separados em diferentes espaços para serem empregados na fórmula que gera o índice de Floresta Urbana, conforme observado na tabela 4.

**Tabela 4. Porcentagem de cobertura e índices nas cenas dos bairros estudados, ano 2002.**

| Classes de cobertura (%)                       | Variáveis espaciais      | Vila          |               |               |
|--|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
|  |                          | Leopoldina    | Itaquera      | Bom Retiro    |
| rio  | Espaço d'água            | 2,91%         | 6,63%         | 6,25%         |
| Lago/lagos/piscinão                            | Espaço d'água            | 1,02%         | 0,24%         | 0,49%         |
| Piscina  | Espaço d'água            | 0,74%         | 0,31%         | 0,03%         |
| <b>Total de Espaço d'água</b>                  |                          | <b>4,67%</b>  | <b>7,18%</b>  | <b>6,77%</b>  |
| Asfalto  | Espaço Livre Impermeável | 5,75%         | 10,46%        | 13,86%        |
| Piso cimento                                   | Espaço Livre Impermeável | 7,94%         | 3,97%         | 9,02%         |
| <b>Total de Espaço Livre Impermeável = ELI</b> |                          | <b>13,69%</b> | <b>14,43%</b> | <b>22,88%</b> |
| Copa de árvores/arbustos                       | Espaço Livre Arborizado  | 12,44%        | 10,82%        | 9,87%         |
| Relvado  | Espaço Livre Herbáceo    | 3,32%         | 3,60%         | 1,09%         |
| <b>Total de Espaço Livre Vegetado = ELV</b>    |                          | <b>15,76%</b> | <b>14,42%</b> | <b>10,96%</b> |
| Solo exposto escuro                            | Espaço Livre Permeável   | 11,64%        | 14,94%        | 15,76%        |
| Solo exposto claro                             | Espaço Livre Permeável   | 4,69%         | 6,69%         | 4,92%         |
| <b>Total de Espaço Livre Permeável = ELP</b>   |                          | <b>16,33%</b> | <b>21,63%</b> | <b>20,68%</b> |
| Telha cerâmica                                 | Espaço construído        | 7,70%         | 10,44%        | 3,93%         |
| Telha escura                                   | Espaço construído        | 13,19%        | 8,89%         | 12,84%        |
| Telha cinza                                    | Espaço construído        | 16,53%        | 19,67%        | 12,85%        |
| Telha metálica                                 | Espaço construído        | 4,47%         | 3,13%         | 2,89%         |
| <b>Total de Espaço Construído = EC</b>         |                          | <b>41,89%</b> | <b>42,13%</b> | <b>32,51%</b> |
| Sombra   | Espaço sombreado         | 7,66%         | 0,22%         | 6,20%         |
| <b>TOTAL</b>                                   |                          |               |               |               |
| <b>Índice Kappa (%)</b>                        |                          | <b>86,46%</b> | <b>91,09%</b> | <b>93,83</b>  |
| <b>PAC</b>                                     |                          | <b>0,228</b>  | <b>0,204</b>  | <b>0,232</b>  |
| <b>PAI</b>                                     |                          | <b>0,4760</b> | <b>0,428</b>  | <b>0,301</b>  |
| <b>IFU</b>                                     |                          | <b>0,704</b>  | <b>0,632</b>  | <b>0,533</b>  |

## 5. Conclusão

O índice de floresta urbana (IFU) pôde valorizar de maneira efetiva a característica do bairro Vila Leopoldina que mesmo possuindo elevada quantidade relativa de telhados ainda obteve o melhor IFU. Tal fato deve-se a baixa quantidade de superfícies impermeáveis e a mais alta quantidade de árvores entre os três bairros. Procure comparar com o encontrado em (SILVA FILHO et al., 2005)

A presença de valores diferenciados de cobertura de telhados pode indicar variações no uso do solo nos bairros assim como indicar variações socioeconômicas, pois bairros com maior quantidade de telha cerâmica indicam bairro de uso para moradia e bairros com elevada quantidade de telhas escuras e cinzas indicam o uso para indústria e comércio. O bairro Itaquera possui baixos índices sociais e a maior quantidade de telhas cinzentas. Esse dado poderá indicar a presença de casas precárias com telhados mal acabados. A classe piscina pode indicar variação socioeconômica indicando o bairro Bom Retiro como o pior nesta classe o que não condiz com os dados socioeconômicos.

Os dados indicam que a arborização viária deve ser intensificada nestes bairros devido a intensa quantidade de área construída e impermeável dessas localidades da metrópole paulistana.

### Referências

Congalton, R.G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. **International Journal of Wildland Fire**, v. 10, p.321-328, 2001

Novak, D.J.; Rowntree, R.; McPherson, E. G.; Sisinni, S.M.; Kerkemann, E.R.; Stevens, J.C.; **Measuring and analyzing urban tree cover.**, Davis, California State, Landscaping and Urban Planning, v. 36, p. 49-57, 1996.

Silva Filho, Demóstenes Ferreira da. **A Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana.** 2004, Tese (doutorado em Agronomia-Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2004

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

Domingos, P.L.H.; Fonseca, L.M.G.; Monteiro, A.M.V. **Extração de vegetação intra-urbana de imagens de alta resolução.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. Anais: São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p.3739-3746. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://martemarte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.23.40/doc/3739.pdf> >. Acesso em: 15 set. 2006.

Atlas Ambiental do município de São Paulo; Disponível em: <<http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2006.

IBGE Cidades@; Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 15 out. 2006