

## O uso do sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite de alta resolução para extração de cobertura arbórea intra-urbana no interior do Estado de São Paulo

Carlos Alberto Silva<sup>1</sup>  
Fabrício Gomes de Oliveira Sebok<sup>1</sup>  
Israel Carvalho Lima<sup>1</sup>  
Demóstenes Ferreira da Silva Filho<sup>1</sup>  
Jefferson Lordello Polizel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil  
Carlos\_engflorestal@yahoo.com.br  
{fasebok, Israelcl2}@ gmail.com  
{dfsilva, jlpolize}@esalq.usp.br

**Abstract.** The present work used the remote sensing through a image of the high resolution from the QuickBird satellite as a tool to survey the structure of the urban Iracemápolis, SP. There were made supervised classifications for characterization of intra-urban elements and the proportions obtained, as soil, tree cover, lawns, asphalt and roofs. The Urban Forestry studies have a lot importance to planning, management and research the presence of trees in the city. The trees help to cities to keep a good maintenance of microclimate, aesthetic landscape, flood control, pollution reduction and others. The Iracemápolis city has mid level of urban forestry (0,57) compared with Maringá-PR (0,94), which is a model city. This way, the city requires the implementation of public policies to increase afforestation and mitigate the harmful effects of its absence, especially for the microclimate of the city.

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

### 1. Introdução

A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas de computação especializados são usados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (CRÓSTA, 1999).

Considerando as florestas urbanas como um complexo de extrema importância e que propicia uma melhoria na qualidade tanto ambiental quanto social de uma cidade, o objetivo deste trabalho foi utilizar o sensoriamento remoto, por meio de uma imagem de alta resolução do satélite QuickBird da Empresa Digital Globe como ferramenta para o levantamento da estrutura urbana do município de Iracemápolis, SP, principalmente sob o aspecto de cobertura vegetal, para assim viabilizar a criação de indicadores que possam ser utilizados na gestão ambiental urbana do município.

### 2. Área de estudo

O município de Iracemápolis-SP está localizado na posição geográfica Centro - Oeste do estado (Figura 1), situado entre as coordenadas geográficas 22° 34' 50" S de latitude e 47° 31' 07" O de longitude Greenwich, com altitude média de 600,74 m acima do nível do mar, e clima subtropical (tipo Cwa segundo Köppenn), com médias anuais de 21,5 °C. A cidade é limitada ao norte por Cordeirópolis, ao Noroeste por Santa Gertrudes, ao Sul por Piracicaba, ao Leste por Limeira e ao Oeste por Santa Bárbara D'Oeste. Iracemápolis possui uma área de 116 Km<sup>2</sup>, sendo 7,5 km<sup>2</sup> ocupados pelo perímetro urbano. Aproximadamente possui 19.700 habitantes, com um crescimento de 3,8% ao ano (IBGE, 2010).



Figura 1. Localização do município de Iracemápolis – SP. Desenvolvido pelo autor.

### 3. Métodos

O trabalho contou com as imagens captadas pelo satélite QuickBird de alta resolução, com resolução espacial de 60 centímetros de lado de pixel. A imagem é captada por um sistema de modo pancromático e multiespectral. A combinação de imagens pretas e brancas com dados multiespectrais geram 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 0,45-0,90 $\mu\text{m}$  e a Resolução espacial é de 61 a 72 centímetros. O sensor multiespectral tem as resoluções espectrais na banda azul de 0,45-0,52 $\mu\text{m}$ , na verde de 0,52-0,60 $\mu\text{m}$ , na vermelha de 0,63-0,69 $\mu\text{m}$ , e no infravermelho próximo de 0,76-0,90 $\mu\text{m}$  e uma resolução espacial de 2,4 a 2,8 metros. As imagens foram tiradas no ano de 2005, com tamanho da cena de 16,5 x 16,5 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 Tratamento da imagem

A resolução radiométrica foi elaborada por análise de pixel do mosaico. Utilizando o programa de geoprocessamento Microimages TNT Mips versão 7.2, os valores de pixel foram desmembrados e estudados nos Espectros “R” (infravermelho próximo), “G” (verde) e “B”(azul), objetivando um erro mínimo na classificação e mensuração das áreas intra-urbanas e seus componentes. A cena foi recortada por meio dos vetores da cidade para extração das áreas.

#### 3.2 Elaboração de classificação supervisionada

Foi elaborado um treinador com dez classes, as quais estão citadas na tabela abaixo:

Tabela 1: Classes empregadas no pacote treinador

Asfalto	Solo
Copa de Árvores	Sombra
Lago	Telha Cerâmica
Piscina	Telha Cinza
Relvado	Telha Metálica

### 3.2.1 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>	
<i>Classificação</i>	<i>Porcentagem (%)</i>
Pobre	< 0
Muito leve	0 - 20
Leve	21 - 40
Moderado	41 - 60
Substancial	61 - 80
Quase perfeito	81 - 100

### 3.3 Classificação com uso de treinadores

Foram elaboradas classificações supervisionadas do mosaico usando o algoritmo da máxima verossimilhança. Confeccionou-se o treinador e auditor, para o Mosaico. Após esta etapa procedeu-se à 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 e KOCH, 1977).

### 3.4 Índices Utilizados

As classes citadas no pacote treinador se caracterizam como índices propostos por Silva Filho (2004) Espaço Livre Impermeável (ELI), Espaço Livre Permeável (ELP), Espaço Livre Vegetado (ELV) e Espaço Construído (EC). 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 da Equação 1.

(Equação 1):

$$IFU = PAI + PAC$$

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 Equações:

(Equação 2):

$$PAI = \frac{ELA}{(ELA + ALI)}$$

(Equação 3):

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

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

### 3.4 Índice de Floresta Urbana (IFU) e de desenvolvimento Humano (IDH) comparado com índices de outras cidades.

Comparou-se o índice de floresta urbana obtido para Iracemápolis com os índices de duas cidades, sendo uma delas a cidade de Maringá-PR é considerada uma cidade modelo por apresentar um elevado IFU. Para estabelecer uma relação entre a cobertura arbórea e as condições sócias econômica da cidade utilizou se do índice de desenvolvimento humano que é concebido pela ONU para avaliar as condições de vida da população.

### 4. Discussão e resultados

O índice Kappa encontrado demonstra que a precisão da classificação realizada é muito próxima da realidade, sendo quase perfeito.

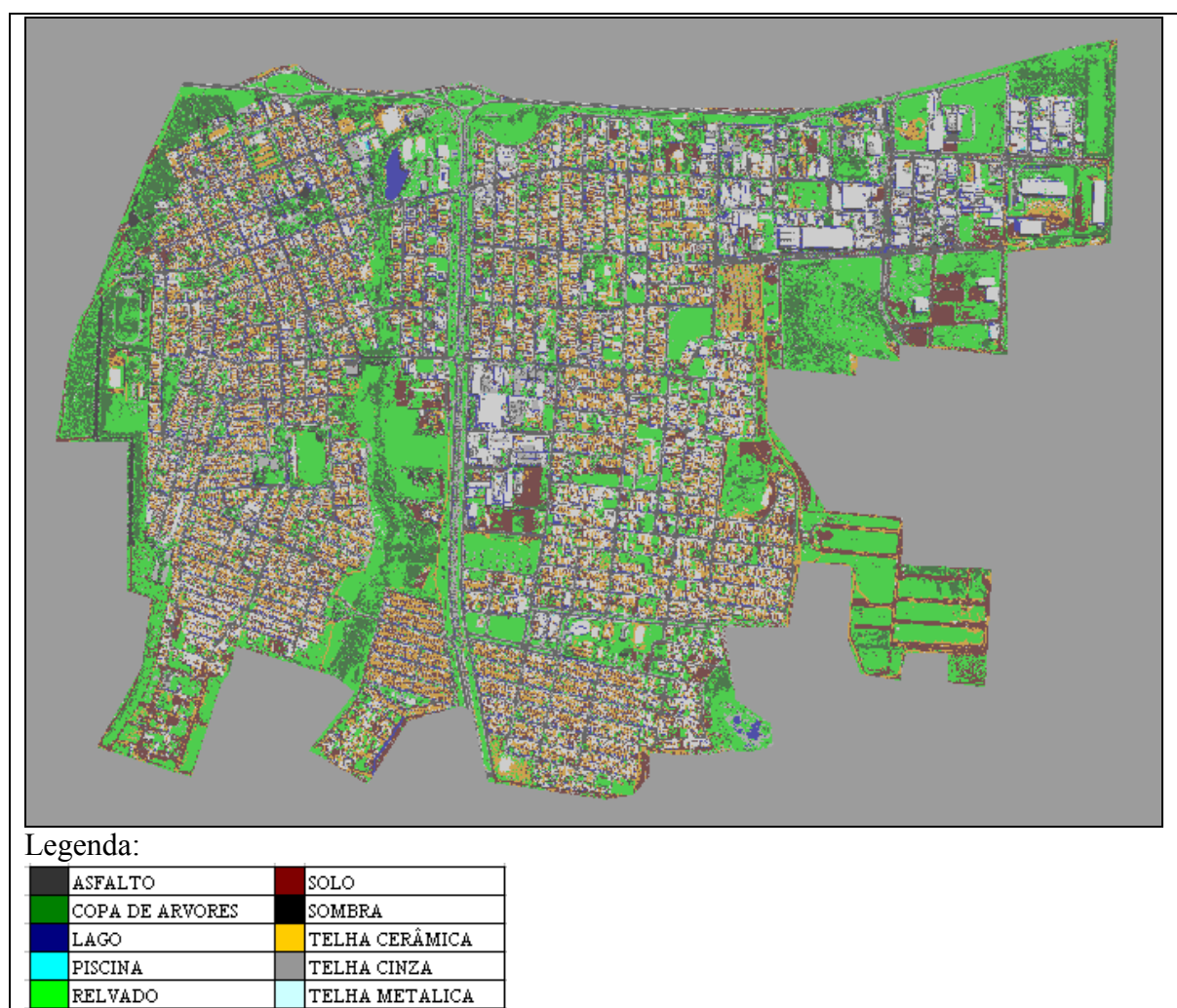


Figura 2. Classificação da cidade de Iracemápolis.

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 3.

Tabela 3: Porcentagem das classes de cobertura e índices: Kappa (Índice de precisão), PAC (proporção entre Espaço Arborizado e Espaço Livre Impermeável), PAI (proporção entre Espaço Arborizado e Espaço Construído) e IFU (Índice de Floresta Urbana) do município de Iracemápolis - SP.

<b>Classes de cobertura</b>	<b>Variáveis Espaciais</b>	<b>Participação (%)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Lago	Espaço d'água	4,19	0,1484
Piscina	Espaço d'água	0,06	0,0015
Total de Espaço d'água		4,25	0,1499
Asfalto	Espaço Livre Impermeável	11,58	0,5690
Total de Espaço Livre Impermeável = ELI		11,58	0,5690
Copa de árvores/arbustos	Espaço livre Vegetado	7,48	0,3518
Relvado	Espaço livre Vegetado	25,87	1,0626
Total de Espaço livre Vegetado = ELV		33,35	1,4144
Solo	Espaço Livre permeável	13,40	0,6862
Total de Espaço Livre permeável=ELP		13,40	0,6862
Telha cerâmica	Espaço Construído	10,13	0,4572
Telha cinza	Espaço Construído	10,14	0,4789
Telha metálica	Espaço Construído	14,05	0,6185
Total de Espaço Construído = EC		34,32	1,5546
Sombra	Espaço sombreado	3,10	0,3255
<b>Total</b>		<b>100,00</b>	<b>4,6996</b>
<b>Índice Kappa (%)</b>			<b>94,333</b>
<b>PAC*</b>			<b>0,3924</b>
<b>PAI *</b>			<b>0,1789</b>
<b>IFU *</b>			<b>0,5714</b>

\* Sem unidade

O IFU obtido no trabalho pode ser enquadrado como sendo um valor de caráter médio, pois um alto índice de floresta urbana é aquele que se aproxima de 1,0. A presença de valores diferenciados de cobertura de telhados pode indicar variações no uso do solo, assim como indicar variações socioeconômicas, pois áreas com maior quantidade de telha cerâmica indicam ser de uso para moradia e com elevada quantidade de telhas escuras e cinzas indicam o uso para indústria e comércio. A cidade apresenta valores semelhantes de telhas cerâmicas e de telhas cinza. A telha metálica se destaca das demais, por apresentar maior porcentagem de participação, proporcionando um baixo índice social e alto índice industrial. A classe piscina é um indicador socioeconômico, o estudo revela que a cidade apresenta baixo valor socioeconômico.

Tabela 4: Comparações dos Índices: IFU (Índice de Floresta Urbana), CA (Cobertura Arbórea), CV (Cobertura verde) e IDH (Índice de desenvolvimento humano), dos municípios de Piracicaba-SP, Iracemápolis – SP e Maringá-PR.

<b>Cidades</b>	<b>IFU</b>	<b>CA (%)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>IDH</b>
Piracicaba	0,56*	9,80*	25,00*	0,836**
Iracemápolis	0,57	7,48	30,09	0,828**
Maringá	0,94*	16,83*	-----	0,841**

Fonte: \* SILVA, 2010; \*\* IBGE, 2010

O IFU obtido para Iracemápolis foi menor, se comparado com Maringá, que é considerada uma cidade modelo. Piracicaba apresenta IFU semelhante à de Iracemápolis. Com relação aos IDH's, Iracemápolis não se diferencia das demais cidades, enquadrando-se como uma cidade de ótima qualidade de vida, por apresentar valor elevado de IDH ( $> 0,80$ ).

Maringá se destaca com 16,83 % da área do município com CA. Iracemápolis apresenta 7,48% de CA, sendo menos da metade do valor do índice de CA de Maringá, seguido de Piracicaba com 9,80% de CA.

## 5. Conclusão

O valor do IFU de Iracemápolis está distante do encontrado em uma cidade considerada modelo. Os dados indicam que a arborização urbana deve ser intensificada, principalmente devido à intensa quantidade de área construída.

Desta forma podemos concluir que Iracemápolis apesar de ser considerada uma cidade de ótima qualidade de vida por apresentar alto IDH, é uma das cidades prioritárias para execução de políticas públicas, objetivando aumentar a arborização e amenizar os efeitos nocivos de sua ausência, especialmente para o microclima do município.

## 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
- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, IG/UNICAMP, 170p, 1999
- IBGE. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 28. out. 2010
- 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.
- Silva Filho, D. F. da. **A Aplicação de videografia aérea multiespectral na avaliação de floresta urbana**. 2004 Teses (doutorado em Agronomia Produção Vegetal) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2004
- Silva Filho, D. F. da. **Sustentabilidade da arborização urbana: plantio, manejo e supressão**. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/rafasustentavel/comdema-apresentao-arborizacao-urbana-prof-demstenes-ferreira-da-silva-filho>>. Acesso em: 28. out. 2010.