

## Geotecnologias aplicadas à caracterização das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP)

Lucimari Aparecida Franco Garcia Rossetti<sup>1</sup>  
Sergio dos Anjos Ferreira Pinto<sup>1</sup>  
Cláudia Maria de Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP/CEAPLA  
Caixa Postal 178 – 13506-900 – Rio Claro – SP, Brasil  
{lucimari,sanjos}@rc.unesp.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DSR  
Caixa Postal 515 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil  
almeida@dsr.inpe.br

**Abstract.** This work is designed to map and evaluate changes in the spatial distribution of the urban vegetation cover as well as in the urban boundaries of Rio Claro city, located in the southeastern State of São Paulo, Brazil, concerning the years 1962, 1972, by means of remote sensing and GIS techniques. As ancillary data for the experiment herein presented, the official city map (scale 1:10.000) and topographic charts covering the city and its surrounding region (scales 1:50.000 and 1:10.000) were scanned and converted to digital format. The methodological procedures employed for mapping the urban vegetation cover consisted of a set of aerophotogrammetric images processing routines, like orthorectification, enhancement, mosaicing, and supervised digital classification. A georeferenced spatial database was created in a GIS environment, in order to allow the data processing, and hence, the multitemporal analysis of the urban vegetation cover distribution and the urban expansion in Rio Claro.

**Palavras-chave:** remote sensing, geographic information systems, urban vegetation, urban growth, urban land use, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, vegetação intra-urbana, expansão urbana, uso do solo urbano.

### 1. Introdução

Nas áreas urbanas, a cobertura vegetal constitui um elemento importante na medida em que pode proporcionar melhorias no ambiente alterado pela ocupação antrópica, podendo ser considerada um indicador da qualidade de vida de seus habitantes, conforme indicativos da Organização Mundial de Saúde.

No contexto brasileiro, a partir da primeira metade do século XX, estruturou-se uma rede de cidades, consideradas de porte médio (100.000 a 500.000 habitantes, conforme o IBGE), as quais possuem como características o rápido e desordenado crescimento de sua malha urbana e o adensamento de edificações. Um dos resultados deste padrão de crescimento destas cidades brasileiras é a reduzida presença de áreas intra-urbanas com cobertura vegetal, tanto públicas como particulares.

Uma das importâncias das áreas vegetadas intra-urbanas refere-se à função de controle e prevenção de desastres naturais, causados por processos de erosão, tais como desmoronamentos e/ou deslizamentos de encostas em sítios montanhosos. De um modo geral, a presença de áreas vegetadas aumenta a permeabilidade dos terrenos intra-urbanos, reduzindo o escoamento superficial das águas pluviais, que causam também problemas de inundações e assoreamento de corpos d'água. Por sua vez, o adensamento de edificações e diminuição da cobertura vegetal urbana tem provocado o surgimento de um fenômeno atmosférico denominado "ilha de calor", ocorrendo em geral nos setores centrais das grandes cidades e em parte também pela própria configuração do sítio urbano. É importante ressaltar,

ainda, que as áreas vegetadas intra-urbanas podem constituir-se em redutos de espécies de fauna e flora regionalmente nativas e que foram excluídas pelo crescimento urbano.

A expansão urbana é um processo de conotação espacial com dimensão temporal, ocorrendo quando as cidades requerem novos espaços para ampliação, decorrentes do crescimento populacional, ou por deterioração de áreas já ocupadas, possuindo funções residenciais e serviços, ou ainda pela reorganização funcional de setores centrais da cidade e incorporação de novas áreas externas ao atual perímetro.

Tendo em vista estas características de dinamicidade do fato urbano, é de fundamental importância o seu monitoramento com o levantamento sistemático de dados, para o efetivo suporte ao planejamento e gestão territorial. Neste sentido, destacam-se as técnicas de Sensoriamento Remoto, através das imagens aerofotogramétricas e orbitais de alta resolução espacial, que permitem não somente levantar dados de elementos do fato urbano para determinados cenários, mas também caracterizar a espacialização das alterações ocorridas. Outro recurso também disponível, útil para a análise e integração de dados de áreas urbanas refere-se ao Geoprocessamento, tecnologia interdisciplinar destinada a armazenar, manipular e representar dados espacialmente referenciados, em ambiente computacional, destacando os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é mapear e avaliar as alterações da distribuição da cobertura vegetal intra-urbana e a expansão da área urbanizada da cidade de Rio Claro (SP), com o suporte das técnicas de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para os cenários de 1962 e 1972.

## **2. Área Verde Intra-Urbana: Conceituação e Trabalhos de Referência**

O elemento cobertura vegetal intra-urbana, em geral, tem sido incluído na terminologia técnica como “áreas verdes”, sendo focado de forma diferenciada, especialmente quando tratado por profissionais de formações diversificadas. As diferentes abordagens utilizadas na obtenção de índices de cobertura vegetal dificultam as análises dos dados de uma mesma área intra-urbana. Dada as diferenças conceituais de enquadramento do tema “área verde intra-urbana”, é utilizado neste trabalho o termo cobertura vegetal intra-urbana, o qual será considerado como toda área vegetada no interior da área urbanizada, compreendendo espécies graminóides, herbáceas, arbustivas e arbóreas, tanto em espaços públicos como privados.

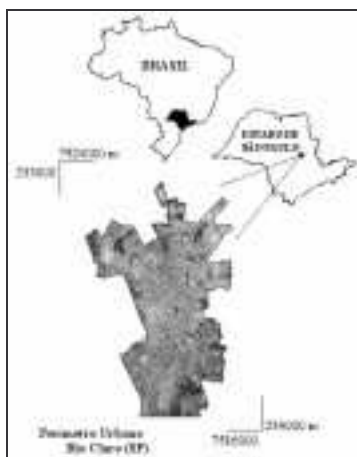
Como este tema já tem merecido atenção em publicações disponíveis, foi realizada uma revisão dos trabalhos desenvolvidos pelos diferentes autores, Troppmair (1976), Escada (1992), Ceccato (1994), Akbari et al. (2003), Van Herzele e Wiedemann (2003), O’ Hara et al. (2003), Grove et al. (2006), que avaliaram qualitativa e/ou quantitativa a vegetação em áreas urbanas, sempre com a denominação de áreas verdes, considerando também as diversas tecnologias empregadas. Ademais, verificaram-se os trabalhos desenvolvidos pelos autores Garcia et al. (1983), Hamburguer e Foresti (1997), Rossini (2001), Herold et al. (2003), os quais avaliaram o uso do solo e a expansão urbana, considerando as diversas abordagens metodológicas e tecnologias empregadas e que, de uma forma direta e/ou indireta, forneceram subsídios teóricos a este trabalho.

## **3. Área de Estudo**

O município de Rio Claro localiza-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo (**Figura 1**), integrando a Região Administrativa de Campinas, importante pólo industrial do Estado; faz parte de uma micro-região que inclui os municípios de Corumbataí, Analândia, Itirapina, Ipeúna e Santa Gertrudes. A cidade de Rio Claro, desenvolvida em sítio urbano de relevo predominantemente plano, está situada a uma altitude média de 613 m, abrigando uma população

de cerca de 185.131 habitantes, conforme o Censo 2005 da Fundação SEADE. Localizada a 173 km da capital paulista, constitui-se em importante vértice de entroncamento rodoviário.

A escolha da área urbana de Rio Claro (SP) justifica-se pela sua importância econômica, em face do seu papel significativo de pólo agro-industrial do interior paulista. Também possui importante acervo de documentos cartográficos e imagens fotográficas de diferentes períodos.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

#### 4. Metodologia

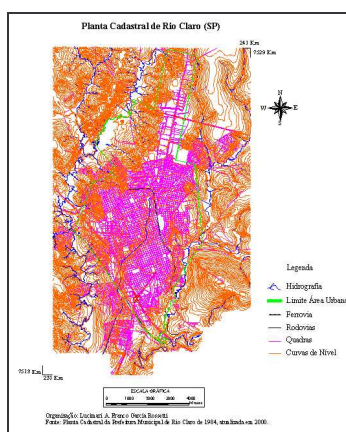
Os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento deste trabalho foram realizados através do pré-processamento e do processamento das imagens, combinando aplicativos de ortorretificação, realce, mosaico e classificação.

##### 4.1 Seleção de Imagens Aerofotogramétricas

Foram selecionadas as fotos relativas aos aerolevantamentos de 1962 e 1972, utilizadas para a delimitação da área intra-urbana e extração dos dados de cobertura vegetal.

##### 4.2 Procedimentos de Vetorização

Inicialmente, foi realizada a edição dos dados altimétricos e planimétricos da planta cadastral de Rio Claro de 1988, atualizada em 2000 (**Figura 2**), com o aplicativo CAD *Autodesk Map*, que integra funções de vetorização, edição e plotagem.



**Figura 2** – Planta cadastral de Rio Claro (SP).

### 4.3 Processamento das Imagens Digitais

Na seqüência da abordagem deste trabalho, as imagens aerofotogramétricas foram transpostas para o meio digital. O processamento das imagens digitais foi dividido em duas etapas: a 1ª etapa, correspondente ao pré-processamento, preparou as imagens para serem classificadas; e em uma 2ª etapa, correspondente ao processamento das imagens propriamente dito, aplicaram-se funções de classificação para extrair os objetos referentes às classes de cobertura vegetal intra-urbana.

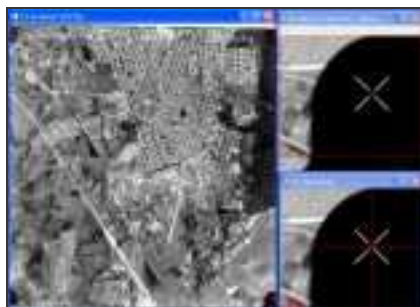
#### 4.3.1 Pré-Processamento

Nesta etapa, foram executados procedimentos de ortorretificação, equalização de níveis de cinza e mosaicagem das imagens.

#### Ortorretificação das Fotos Aéreas

O software *ENVI*, aplicativo para Processamento de Imagens Digitais, foi utilizado com a finalidade de corrigir as distorções geométricas, decorrentes da atitude de apontamento do sistema sensor no momento do imageamento. O processo de ortorretificação das imagens aerofotogramétricas foi realizado nas seguintes etapas:

- criação da orientação interna da aerofoto (**Figura 3**), que forneceu parâmetros da câmera aerofotogramétrica relacionados com as marcas fiduciais e a distância focal;



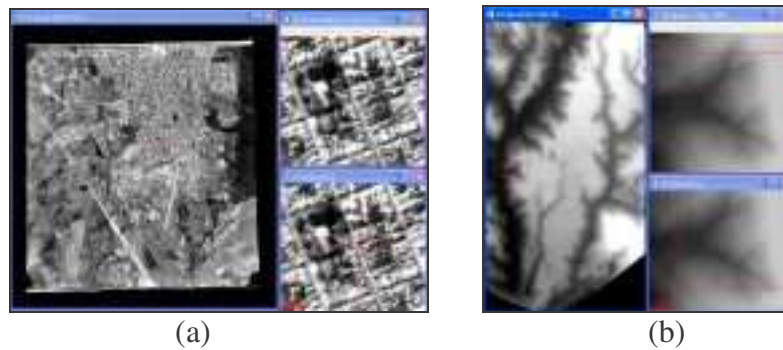
**Figura 3** – Marcas fiduciais da foto aérea 35863–1972 para orientação interna da câmera.

- realização da orientação externa (**Figura 4**), para associar os pontos de controle da aerofoto com as coordenadas de localização (x,y) e elevação (z) correspondentes. No processo de orientação externa, informou-se o Sistema de Projeção Cartográfica – UTM - e o Datum - Córrego Alegre (Fuso 23);



**Figura 4** –Pontos de controle da foto aérea 35863–1972 para orientação externa.

- geração da ortofoto (**Figura 5**), a partir da foto aérea que contém os dados das marcas fiduciais e dos pontos de controle, bem como através do apoio de um arquivo de Modelo Digital do Terreno (MDT).



**Figura 5** – a) Ortofoto 35863–1972 gerada no software *Envi*; b) imagem de Modelo Digital de Terreno (MDT).

A **Figura 6** ilustra uma foto ortorretificada, com a sobreposição da planta cadastral de um setor da área urbana de Rio Claro.

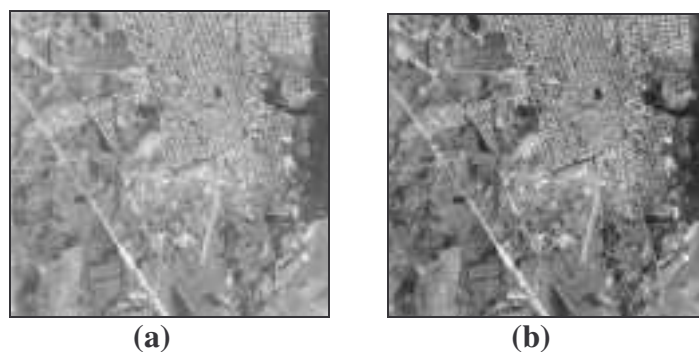


**Figura 6** - Aerofoto ortorretificada com sobreposição da planta cadastral.

### Equalização de Níveis de Cinza das Fotos Aéreas

As imagens selecionadas foram submetidas a procedimentos de equalização de níveis de cinza, com a finalidade de minimizar as diferenças tonais resultantes da geometria de cena no momento de suas aquisições.

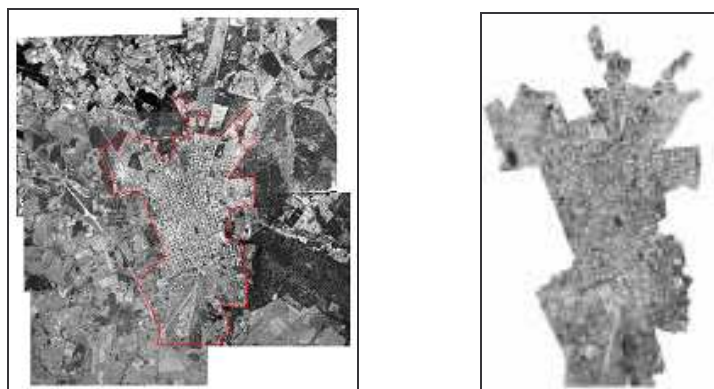
Esse procedimento foi executado no software *SPRING*, conforme os seguintes passos: (i) aplicação da função de “análise estatística de amostras”, com o objetivo de obter a média e o desvio padrão dos níveis de cinza de cada foto selecionada; (ii) com base nesses dados estatísticos, foram calculados os parâmetros de ganho e offset para o ajuste dos níveis de cinza entre as diferentes fotos selecionadas, tomando-se como referência a imagem fotográfica que apresentou maior valor de média de nível de cinza; (iii) aplicação da função “operação aritmética” considerando-se os dados de ganho e offset (**Figura 7**).



**Figura 7** – Exemplo de equalização de níveis de cinza: a) foto aérea 35863 a ser equalizada, b) foto aérea 35863 equalizada.

### Mosaico das Fotos Aéreas

Para operacionalizar a análise da área, foi necessário realizar a junção das imagens através do processo de mosaicagem. A delimitação da área intra-urbana no período de 1962 requisitou cinco fotos aéreas, conforme exibido na **Figura 8**, e para 1972, foram utilizadas três fotos aéreas. No software *SPRING*, foram realizados os procedimentos de mosaicagem, através da importação das ortofotos (imagens) em formato *geotiff*, geradas no *ENVI*.



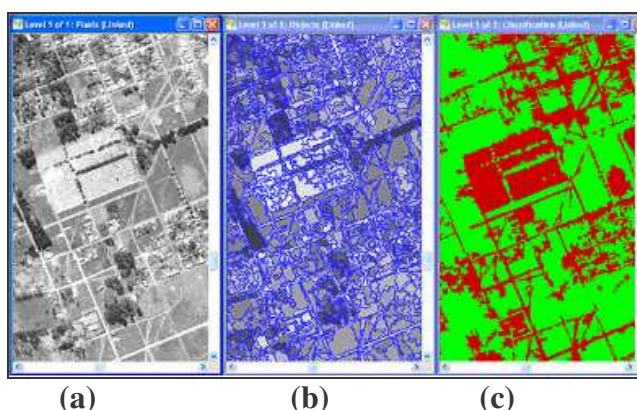
**Figura 8** - Mosaico das fotos aéreas de 1962.

### 4.3.2 Processamento das Imagens

#### Classificação Digital de Imagens - Cobertura Vegetal Intra-Urbana

O software *e-Cognition*, aplicativo para classificação de imagens baseado no paradigma de orientação a objetos, foi utilizado para o mapeamento da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro. Nesse procedimento, foram definidas duas classes temáticas: Vegetação e Não Vegetação, as quais foram identificadas com o apoio do processo de segmentação multiresolução das imagens.

A **Figura 9** exemplifica resultados parciais dos procedimentos de segmentação e classificação realizados através do software *e-Cognition*.



**Figura 9** – a) Imagem a ser classificada, b) imagem segmentada, c) imagem classificada: vegetação (verde) e não vegetação (vermelho).

### 4.4 Geração de Mapas Temáticos

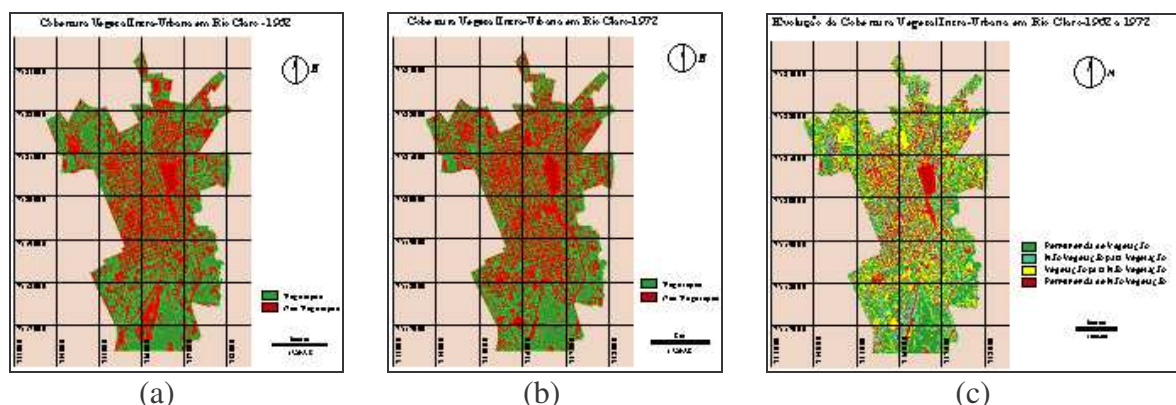
Com a utilização do software *Idrisi 3.2*, foram gerados os mapas temáticos da distribuição da cobertura vegetal intra-urbana nos períodos de 1962 e 1972, além do mapa temático da evolução da cobertura vegetal de 1962 a 1972.

## 5 Considerações sobre Resultados Preliminares

### 5.1 Análise das Alterações da Cobertura Vegetal Intra-Urbana: Período - 1962 a 1972

De um modo geral, a área intra-urbana de Rio Claro no período de 1962 e 1972 apresentou uma quantidade significativa de vegetação, particularmente nas áreas privadas, como cobertura vegetal de fundos de quintais e loteamentos. Também verificou-se a presença significativa de cobertura vegetal em áreas públicas, tais como no Jardim Público Central; em praças públicas de forma geral; no setor norte da cidade, em áreas como o Parque Lago Azul e o Haras; e no setor sul, a arborização da Avenida da Saudade e a área junto ao Aeroclube.

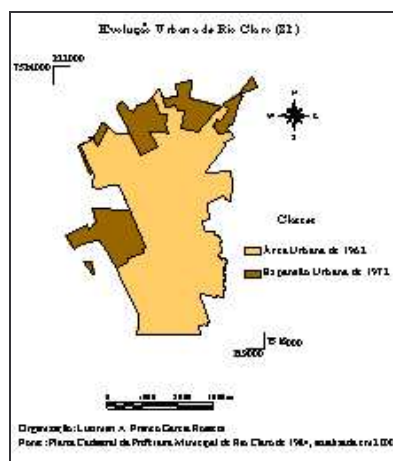
Comparando-se os cenários 1962 e 1972, verificou-se que, em grande parte das quadras da zona central, a vegetação de fundo de quintal foi removida, sendo substituída por edificações (Mapas *a* e *b* da Figura 10). Este fato também foi observado em bairros novos, tanto no setor sul como norte da cidade, os quais apresentaram quadras onde as edificações substituíram total ou parcialmente a cobertura vegetal. As áreas vegetadas junto ao Aeroclube e Avenida da Saudade (zona sul) permaneceram, enquanto que no entorno do Lago Azul, a cobertura vegetal foi parcialmente removida e substituída por edificações. A área do Haras, por sua vez, sofreu processo de loteamento, embora as quadras ainda estivessem cobertas por vegetação graminóide.



**Figura 10** – a) Distribuição da cobertura vegetal em Rio Claro – 1962; b) distribuição da cobertura vegetal em Rio Claro – 1972; c) evolução da cobertura vegetal intra-urbana em Rio Claro – 1962 a 1972.

### 6.3 Análise da Expansão Urbana no Período de 1962 a 1972

Para caracterizar e analisar a expansão urbana da cidade de Rio Claro, o perímetro urbano do ano de 1962 foi considerado como referência. Na **Figura 11**, observa-se que o processo de expansão urbana entre 1962 e 1972 foi pouco significativo. À leste da área urbana, encontra-se o Ribeirão Claro e o Horto Florestal Navarro de Andrade, hoje denominado Floresta Estadual, constituindo-se em barreiras para a expansão urbana nesta direção. No setor oeste, verificou-se expansão através da implantação de novos loteamentos, dando continuidade à malha urbana até a Rodovia Washington Luiz. Ultrapassando a Rodovia, foram criados somente dois loteamentos novos, sendo um deles conectado à mancha urbana. Também no setor norte, verificou-se expressiva expansão da área urbana de Rio Claro.



**Figura 11** – Evolução urbana de Rio Claro – 1962 a 1972.

## Referências Bibliográficas

- Akbari, H.; Rose L.S.; Taha H. Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. **Landscape and Urban Planning**, v.63, p.1-14, 2003. Disponível em: <<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>. Acesso em: 02/08/2004.
- Ceccato, V.A. **Proposta metodológica para avaliação da qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas e Banco de Dados Georrelacional**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Fevereiro de 1994.
- Escada, M.I.S. **Utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto para o planejamento de espaços livres urbanos de uso coletivo**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, abril, 1992.
- Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE . Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>>. Acesso em: <16/10/2006>.
- Garcia, G.J.; Garcia, L.B.R.; Gerardi, L.H.O. A expansão urbana de Rio Claro-SP: *uma aproximação quantitativa*. **Geografia**, v.8, n.15-16, p.175-180, outubro 1983.
- Grove, J.M. et al. Data and methods comparing social structure and vegetation structure of urban neighborhoods in Baltimore, Maryland. **Society and Natural Resources**, v.19, p. 117-136, 2006. Disponível em: <<http://tresearch.fs.fed.us/pubs/14733>>. Acesso em: <10/08/2006>.
- Hamburger, D.S.; Foresti, C. Classificação do uso do solo urbano em imagens Spot. **Geografia**, v.22, n.1, p.51-79, abril 1997.
- Herold, M.; Goldstein, N.C.; Clarke, K.C. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p. 286-302, 2003. Disponível em: <<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>. Acesso em: 10/08/2006.
- O'Hara, C.G.; King, J.S.; Cartwright, J.H.; King, R.L. Multitemporal land use and land cover classification of urbanized areas within sensitive coastal environments. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41 (9), p.2005-2014, 2003. Disponível em: <<http://portal.isiknowledge.com/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>>. Acesso em: 10/08/2006.
- Rossini, D. **Análise ambiental e do padrão espacial em áreas de expansão urbana de Limeira-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia – Área de Concentração em Análise da Informação Espacial) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- Troppmair, H. Estudo biogeográfico das áreas verdes de duas cidades médias do interior paulista: Piracicaba e Rio Claro. **Geografia**, v.1, n.1, p.63-78, abril 1976.
- Van Herzele A.; Wiedemann T. A monitoring tool for provision of accessible and attractive urban green spaces. **Landscape and Urban Planning**, v.63, p.109-126, 2003.