

## **Expansão da mancha urbana de Sorocaba, São Paulo, no período de 2002 a 2009: subsídios ao Plano Diretor por meio de técnicas de Geoprocessamento**

Marcos Roberto Martines<sup>1</sup>

Rogério Hartung Toppa<sup>2</sup>

Paula Sartori Santiago de Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba  
Departamento de Geografia, Turismo e Humanidades  
Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), km 110, CEP 18052-780, Sorocaba - SP  
mmartines@ufscar.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba  
Departamento de Ciências Ambientais  
Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), km 110, CEP 18052-780, Sorocaba - SP  
toppa@ufscar.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba  
Departamento de Ciências Ambientais  
Rodovia João Leme dos Santos (SP-264), km 110, CEP 18052-780, Sorocaba - SP  
paula.sartori@yahoo.com.br

**Abstract.** The parameters of urban management policies in Brazil have a strongly established legal support through mechanisms implemented by the City Statute, which states that “The Master Plan, approved by municipal law, is the basic tool of development policy and urban expansion”. However, this expansion is not always observed a pattern of consistent pre-occupation with the guidelines laid plans. Urban sprawl eventually becomes an indicator for the assessment of effectiveness of the Master Plan, as the decision making on this topic should respect the guidelines set forth in the classification of areas. Thus, this research aims to identify urban expansion core in Sorocaba, considering the mapping of this theme in relation to the timeframe of the preparation of the Master Plan. For this, we applied methods of remote sensing, spatial analysis and numerical modeling that allowed obtaining satisfactory results and aligned manner with the aim of identifying key cores of urban expansion.

**Palavras-chave:** urban expansion, master plan, spatial analysis, numerical, modeling, expansão urbana, plano diretor, análise espacial, modelagem numérica.

### **1 . Introdução**

Os parâmetros de política de gestão urbana no Brasil possuem uma amparo legal fortemente consolidado por meio dos dispositivos implementados pelo Estatuto da Cidade, Lei Federal 10.257/2001 (Brasil, 2001), que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, e estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. O Art. 40 do Estatuto da cidade define que "O plano diretor,

aprovado por lei municipal, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana".

Segundo a Lei nº 8.181 de 05 de junho de 2007, que institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial de Sorocaba, em seu Art. 6, que tem por finalidade o desenvolvimento sustentável de Sorocaba, no território do Município foram instituídas três categorias de macrozonas: I - Macrozona com Grandes Restrições à Urbanização; II - Macrozona com Restrições Moderadas à Urbanização; e III - Macrozona com Pequenas Restrições à Urbanização. Os perímetros dessas macrozonas e de seus compartimentos estão organizados, conforme o parágrafo único do referido artigo, em um Macrozoneamento Ambiental (Sorocaba, 2007).

A Seção II do Plano Diretor de Sorocaba aborda especificamente sobre a subdivisão territorial e da área urbana, sendo que o Art. 11 estabelece que a o território Sorocabano deve ser subdividido em área urbana, área de expansão urbana e área rural. O Art. 13 apresenta o seguinte dispositivo: "A Área de Expansão Urbana corresponde às porções do território ainda não urbanizadas, e consideradas passíveis de urbanização a médio e longo prazo, porém não incluídas como área de atendimento pela Prefeitura Municipal de Sorocaba e suas concessionárias no âmbito de seus planos vigentes de obras e serviços necessários para as atividades urbanas nelas previstas".

Porém, nem sempre se observa um padrão de ocupação condizente com as diretrizes pré-estabelecidas em planos, e o processo de planejamento físico-territorial se caracteriza pela dinâmica que se estabelece em função de outras propriedades que emergem devido aos ciclos econômicos regionais, assim como por novas fundamentações técnicas e científicas que determinam um novo padrão espacial de uso e ocupação determinado pelo entendimento de questões socioambientais integradas com a legislação. Essa dinâmica demanda de um monitoramento contínuo para o acompanhamento da efetividade da gestão, conforme as orientações definidas nos instrumentos de planejamento, como é o caso de um plano diretor. A expansão urbana acaba se tornando um indicador para essa análise de efetividade, visto que a tomada de decisões sobre essa temática deveria respeitar as diretrizes estabelecidas no Macrozoneamento.

Com base nesses aspectos apresentados, a presente pesquisa tem como principal objetivo identificar núcleos de expansão urbana no município de Sorocaba, considerando o mapeamento desse tema em relação ao marco temporal de elaboração do Plano Diretor, possibilitando avaliar a disposição espacial do crescimento urbano em relação ao Macrozoneamento Ambiental.

Esse diagnóstico vem de encontro com o objetivo do Plano Diretor de Sorocaba, pois pode colaborar com a orientação das ações do poder público, visando compatibilizar os interesses coletivos e garantir, de forma mais justa, os benefícios da urbanização, e ainda, garantir os princípios da reforma urbana, direito à cidade e à cidadania, e a gestão democrática da cidade fundamentada na sustentabilidade.

O município de Sorocaba localiza-se a 90 quilômetros a oeste da capital (Figura 1). De acordo com dados do IBGE (2014) a população estimada é de 637.187 habitantes, numa extensão territorial é de 449.804 km<sup>2</sup> e densidade populacional de 1.304,18 hab./km<sup>2</sup>.

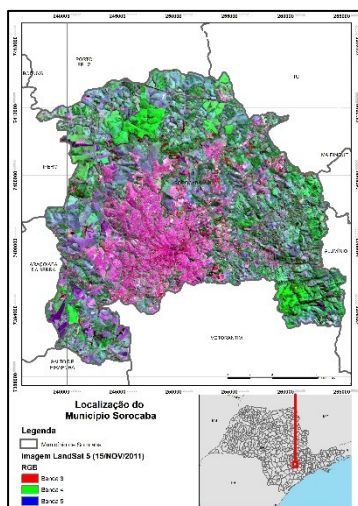


Figura 1. Localização do município de Sorocaba, estado de São Paulo.

## 2. Metodologia

Este trabalho adotou como referência metodológica “Os Quatro Níveis da Pesquisa Científica” proposta por Libault (1971), a saber:

**Nível 1 - Compilatório:** Fase de coleta de dados, independentemente da sua natureza. Os dados podem ser cartas topográfica, geológicas, declividades, uso da terra, dados de censos, dados de campo etc.;

**Nível 2 - Correlativo:** Fase cujos dados devem ser correlacionados para posteriormente possibilitar uma interpretação. Neste caso, a correlação deve ser entre dados homogêneos (da mesma natureza). A correlação de dados não-homogêneos pode levar a interpretações erradas;

**Nível 3 - Semântico:** É um ramo da linguística que estuda o significado das palavras, frases e textos de uma língua. O termo se refere sobre “o que assinala, o que indica”. Este nível portanto é o interpretativo, no qual se chega a resultados conclusivos com base nos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores. Esta é a fase de conhecimento dos mecanismos de funcionamento dos fenômenos estudados;

**Nível 4 - Normativo:** Fase da pesquisa que o produto se transforma em um modelo. Esta modelização pode ser representada por meio de uma cartografia de síntese, uma matriz relacional de conceito/ideias, gráficos, etc.

Com base nesses pressupostos teóricos foram estabelecidos os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento da presente pesquisa, conforme o diagrama conceitual apresentado na Figura 2.

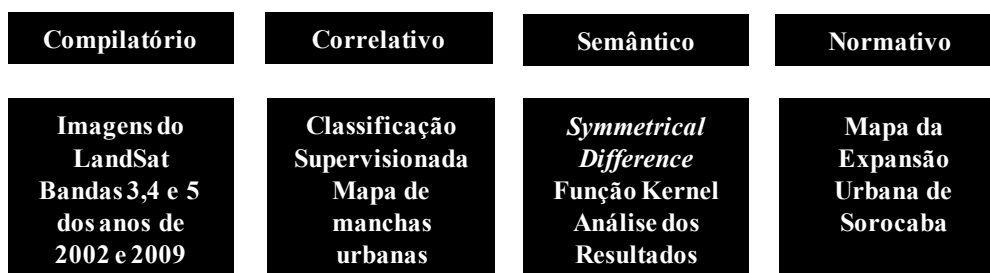


Figura 2. Diagrama conceitual sobre a abordagem metodológica empregada nos procedimentos para o desenvolvimento da pesquisa, baseado em Libault (1971).

Foram realizados levantamentos de Imagens de Satélite (LandSat), considerando um período de abrangência que se correlacionasse com o processo de planejamento frente ao andamento do Plano Diretor de 2004 (Sorocaba, 2004 - Lei 7.122 de 04/6/2004) e a criação e encaminhamento das proposições do Plano Diretor em vigor (Sorocaba, 2007 - Lei N° 8.181, de 05 de junho de 2007). Nesse sentido, foi estabelecido um recorte temporal, no qual foram selecionadas duas cenas, uma referente ao ano de 2002 e outra referente ao ano de 2009, o que permitiu considerar todo o período que incorpora a elaboração e a implementação de diretrizes estabelecidas no instrumento de planejamento. As imagens foram obtidas no sítio *Global Land Cover Facility*, que disponibiliza imagens do LandSat do Brasil por meio da consulta a um banco de dados. Foram utilizadas as bandas 3, 4, 5 com intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ ) respectivamente de (0,63 - 0,69), (0,76 - 0,90), (1,55 - 1,75).

Para o mapeamento adotou-se o método de classificação supervisionada com o uso do programa Spring 4.2, que disponibiliza um instrumental para a geração da classificação. A classificação estatística é o procedimento convencional mais utilizado para análise digital de imagens, e constitui um processo de análise de pixels de forma isolada. Esta abordagem apresenta a limitação da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar esta limitação, foi realizada a segmentação da imagem anterior à fase de classificação, na qual foram extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada. Neste processo dividiu-se a imagem em regiões de correspondência com às áreas de interesse da aplicação. Entende-se por regiões, um conjunto de pixels contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade (Spring, 1996).

Com a imagem segmentada foi realizado o processo de seleção das amostras. Esse processo fez parte do “treinamento” para a definição dos descritores das classes, sobre os quais a regra de decisão possibilitou alocar os pixels da cena das respectivas classes (Novo, 2010).

Neste estudo foram identificadas apenas duas classes: urbano e não-urbano. Ao final da seleção das amostras das duas classes, optou-se pela utilização do algoritmo de Battacharya para realizar a Classificação. Esse classificador mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (Mather, 1993). De posse da classificação, foi realizado o processo de edição manual amparado pelas técnicas de fotointerpretação, buscando validar a classificação, e como apoio foi utilizado no balizamento imagens do Google Earth.

Para o desenvolvimento das análises foi adotado um tratamento de modelagem espacial, para evidenciar as diferenças de configuração de expansão da mancha urbana nas duas cenas selecionadas. Para isso utilizou-se a o algoritmo “*Symmetrical Difference*”, disponível no programa Arcgis 9.3, sendo que esta aplicação permitiu realizar uma intersecção de *overlays* que foi utilizada para evidenciar as diferenças geométricas entre as manchas.

Com base nas figuras geométricas relativas as diferenças da expansão urbana, realizou-se o processo de geração de centróides dos polígonos, mantendo como atributo a área geométrica. Assim, utilizou-se uma modelagem espacial numérica, por meio do estimador de função *Kernel*, que é uma alternativa para analisar o comportamento de padrões de pontos. Segundo Jensen (2009), o estimador da função *Kernel* fornece, por meio de interpolação, uma visão da intensidade pontual do processo no contexto da área. Para o cálculo da densidade em uma matriz numérica de resolução espacial de 30 metros foi utilizado o *software* Terra View 4.2.2, por meio do algoritmo função quadrática. Dessa forma evidenciou de forma contextual para o município de Sorocaba a intensidade do processo de urbanização e as principais áreas de expansão urbana no período estudado.

### 3. Resultados e Discussão

O número de manchas urbanas distribuídas no território municipal para o ano de 2002 era de 108, resultando em uma área de urbanização de 81,69 km<sup>2</sup>, sendo que a maior mancha observada era de 59,1 km<sup>2</sup> (Figura 3A). Para o ano de 2009 foi observado um total de 96 manchas urbanas, com a maior área apresentando 84,73 km<sup>2</sup> (Figura 3B). Essa diminuição no número de manchas se correlaciona com a expansão da urbanização, conectando áreas que se encontravam isoladas no território, provavelmente formadas por condomínios residenciais, cujos investimentos em pavimentação, energia elétrica e água para consolidar esses empreendimentos, possibilitaram ao longo desse trecho o estabelecimento de outras áreas residências para o ano de 2009. Deve-se considerar ainda que a população do município em 2000 era de 493.468 habitantes e em 2007 (anos de referência do censo demográfico de 2000 e contagem populacional de 2007) era de 586.625 habitantes, um aumento de aproximadamente 19% da população (IBGE, 2014). Com base nos dados da contagem populacional de 2014 (637.187 habitantes), em relação ao ano 2000, houve um acréscimo de aproximadamente 30% da população no município de Sorocaba (IBGE, 2014).

A diferença simétrica possibilitou observar um acréscimo de 26,84 km<sup>2</sup> no período analisado, com um arranjo espacial radial em relação ao maior trecho contínuo de área urbana, onde está o centro da cidade (Figura 3C), porém, com base nos resultados da modelagem foi possível verificar a formação de núcleos de expansão urbana, onde se concentram a maior área de espaços urbanizados, consolidando essa configuração de ocupação para o ano de 2009 (Figura 3D).

Esse arranjo espacial do fenômeno analisado se estrutura principalmente em um eixo de expansão sudoeste-nordeste do território Sorocabano, porém, os principais núcleos de expansão se localizam ao norte, sul e oeste do centro da cidade. A expansão urbana para a zona norte da cidade se deu, provavelmente, pelos investimentos públicos para a ocupação desse setor do município, como previsto no Macrozoneamento Ambiental (Figura 4), visto que essa porção do território municipal foi denominada como "zonas com pequenas restrições a urbanização". Porém, deve-se considerar que áreas de interesse ambiental, associadas ao Rio Sorocaba, que atravessam esse trecho de expansão, além de outros rios e córregos, que compõem as várzeas e as planícies aluviais, foram definidas pelo Macrozoneamento como "zonas de grandes restrições a urbanização" (Sorocaba, 2007). Observa-se, ainda, que o núcleo de expansão ao sul de Sorocaba se correlaciona ao fato da área de conurbação com o município de Votorantim, e a oeste, provavelmente, pela especulação imobiliária consolidada pela formação de condomínios residências de alto padrão.

Esse eixo de expansão sudoeste-nordeste indica uma consolidação parcialmente conflitante com o proposto no Macrozoneamento Ambiental, visto que há zonas de moderadas a grandes restrições a ocupação definidas no Plano Diretor, em que no ano de 2009 já se encontravam com áreas urbanas estabelecidas no território municipal.

O Art. 8 do Plano Diretor especifica as orientações de ocupação sobre a "Macrozona com Grandes Restrições a Urbanização", no qual destaca-se a garantia de uma densidade de ocupação baixa para a zona como um todo, de modo a limitar a geração de poluição difusa, e que os terrenos que já se apresentam irreversivelmente urbanizados deverão ser contemplados em estudos e projetos específicos de reurbanização, com o objetivo de minimizar a situação de riscos, bem como prejuízos decorrentes das inundações periódicas a que se encontram sujeitos (Sorocaba, 2007).

O Art. 9 estabelece que "Macrozona com Restrições Moderadas à Urbanização" inclui as sub-bacias de cursos d'água não utilizáveis como manancial e com grande extensão territorial, onde a intensificação da urbanização pode acarretar erosão e, conseqüentemente,

assoreamento de cursos d'água e aumento dos riscos de inundação. Dentre as suas regras de ocupação destaca-se a restrição drástica a ocupação das várzeas (Sorocaba, 2007).

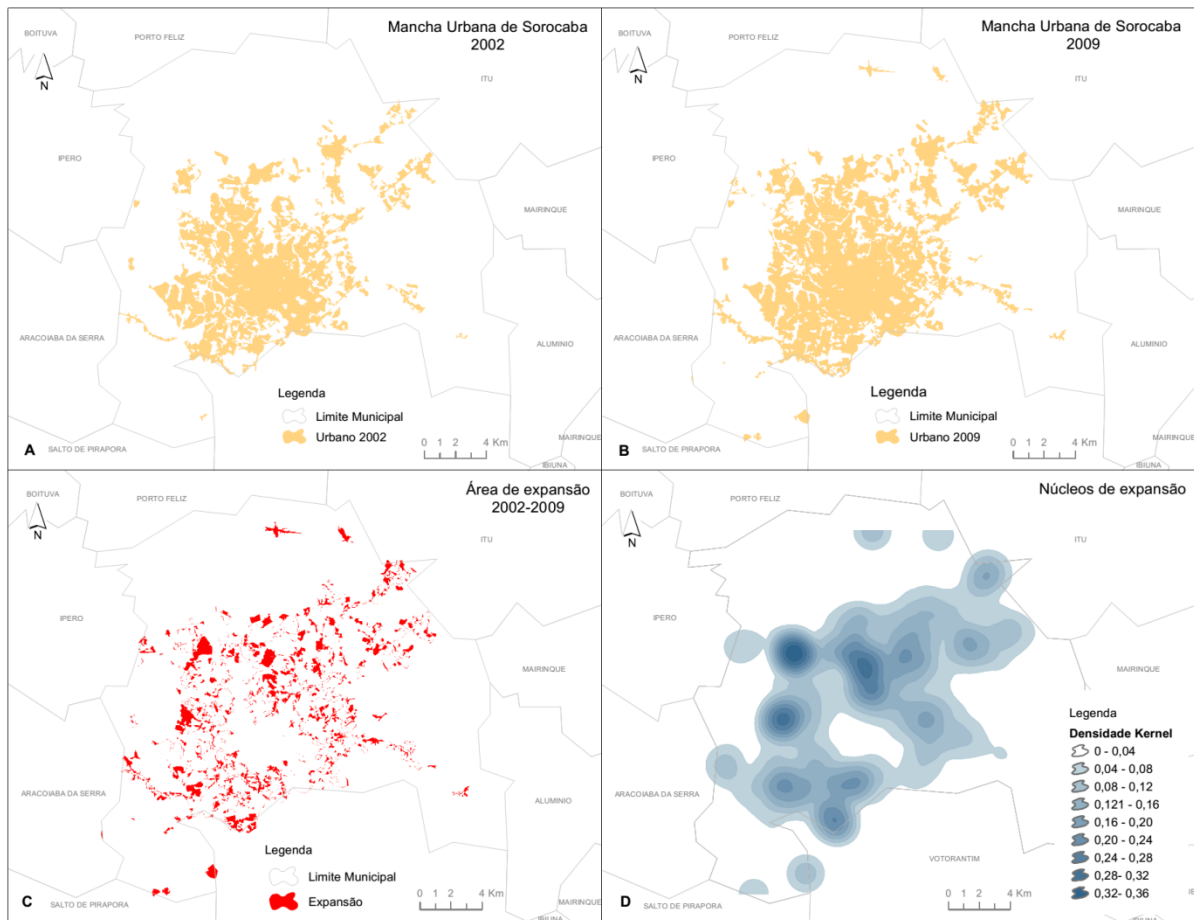


Figura 3 - Análise espacial da distribuição e expansão das manchas urbanas do município de Sorocaba. (A) Distribuição das manchas urbanas para o ano de 2002; (B) Distribuição das manchas urbanas para o ano de 2009; (C) Área de expansão urbana para o período 2002 - 2009; (D) Núcleos de expansão urbana.

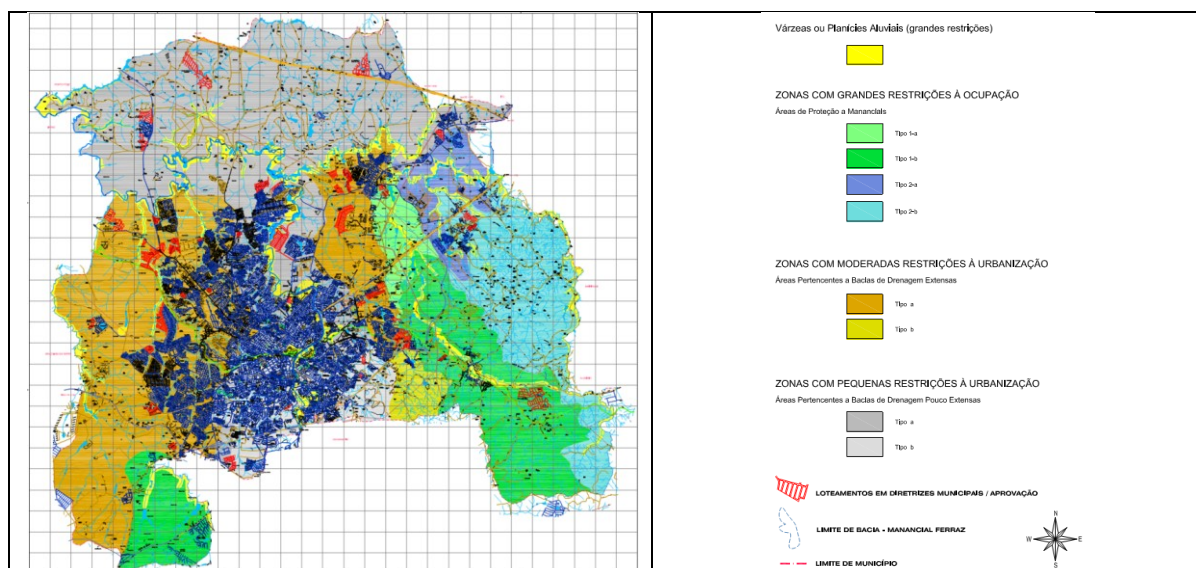


Figura 4 - Macrozoneamento Ambiental de Sorocaba.

Fonte: <http://www.sorocaba.sp.gov.br/planodiretor/>. Acessado em 29 de outubro de 2014.

#### 4. Conclusões

A metodologia aplicada, associada aos métodos de sensoriamento remoto, análise espacial e modelagem numérica aplicadas nesta pesquisa, possibilitou a obtenção de resultados de forma satisfatória e alinhados com o objetivo de identificação dos principais núcleos de expansão urbana.

Ainda, os resultados observados apresentaram apontamentos de uma dinâmica de expansão urbana que deve ser mais bem compreendida frente às diretrizes estabelecidas no Macrozoneamento Ambiental de Sorocaba, porém, os produtos gerados com base nas análises realizadas possibilitaram uma primeira aproximação sobre os aspectos associados ao ordenamento territorial definido em seu Plano Diretor, indicando uma maior atenção para o crescimento sustentável da cidade.

#### 5. Referências Bibliográficas

BRASIL. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Lei Federal 10.257, de 10 de junho de 2001.**

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico de 2000. Características da População e dos Domicílios. Resultado do Universo**, Rio de Janeiro, RJ, IBGE, CD-ROM, 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphany. São José dos Campos, SP: (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: an earth resource perspective.

LIBAULT, A. “Os quatro Níveis da Pesquisa Geográfica”, in Métodos em Questão, 1 IGEOG-USP, São Paulo, 1971.

MATHER, P.M - **Geographical Information Handling** – Research and Applications – 1993. vol. 1.

SOROCABA. Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial de Sorocaba. **Lei nº 7122 de 02 de junho de 2004.**

SOROCABA. Revisão da Lei 7.122 de 04/6/2004, que instituiu o novo Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial do Município de Sorocaba, e dá outras providências. **Lei nº 8.181 de 05 de junho de 2007.**

SPRING: “Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling” Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996