Dinâmica da paisagem no município de Sorocaba – SP, situação reportada nos anos de 1988 e 2011: uma abordagem com o uso de geotecnologias.

Ludmila Araujo Bortoleto [1]
Rafael do Valle Melo [1]
Alexandre Marco da Silva [1]

[1] Universidade Estadual Paulista – UNESP
Avenida Três de Março, 511 - Alto da Boa Vista – 18087-180 – Sorocaba – SP, Brasil
arq.ludmila@gmail.com
rafa_unesp08@yahoo.com.br
amsilva@sorocaba.unesp.br

Abstract: The landscape modifications due to anthropogenic factors imply huge impact on the ecosystems, as well as change in global biogeochemistry and climate. One important change that may occur is the replacement of native vegetation by other kinds of land cover, resulting in a fragmentation process of the remaining vegetation. Currently, these changes are investigated through satellite images. Here we evaluated, using remotely sensed images, the dynamic of the land cover change, as well as the dynamic of patches of the natural remnant vegetation (NRV) in the Sorocaba municipality - Brazil for a period of 23 years (1988 and 2011). Our results show that the urban settlement class increased 18.1% during this period. We also observed expansion of NRV category, which shifted from 8772.21 to 12826.89 ha, respectively in 1988 and 2011. Despite of the increasing of the category NRV, in 2011 we quantified 161 less forest fragments than in 1988. However, it was noted that the remaining fragments are larger in area, suggesting a higher interconnectivity degree. Two facts explain such scenario: (a) Sorocaba is not an "agricultural" municipality, and large areas used for agricultural ends are not observed; and (b) there are some activities aiming reestablish the riparian vegetation along the main water courses, developed by the Municipal Secretary of Environment. These are activities have effectively collaborated on the improvement of the quality of the NRV local.

Palavras chave: forest patches, geoprocessing, land cover map, Sorocaba, fragmentos florestais, geoprocessamento, mapa de cobertura da terra.

1. Introdução

A exploração dos recursos naturais vem causando a degradação dos ecossistemas de várias formas e intensidades. Sendo assim, uma questão natural que surge é: as atividades de uso do solo vêm degradando o ambiente suficientemente para prejudicar os serviços do ecossistema, bem-estar humano, bem como a sustentabilidade das sociedades humanas em longo prazo? (Foley et al., 2005).

Uma das principais consequências da mudança da cobertura da terra é o processo de fragmentação florestal. Por sua vez, a análise desse processo de fragmentação permite obter informações que apóiem e direcionam possíveis trabalhos de conservação em áreas onde a cobertura vegetal nativa foi modificada por fatores antrópicos (Silva et al., 2008).

Em particular, levantamentos para estudo da cobertura da terra são necessários para fins de planejamento. Os produtos deste trabalho, geralmente mapas, podem ser gerados a partir da utilização de fotografias feitas por satélites, associados às técnicas de interpretação (Pereira et al., 1989).

As vantagens de se utilizar dados de sensoriamento remoto em levantamentos sobre a cobertura terra são: atingir grandes áreas de difícil acesso e fazer o imageamento a altas altitudes, possibilitando uma visão sinóptica da superfície terrestre, com repetitividade, viabilizando, portanto, a ações de monitoramento (Freitas Filho e Medeiros, 1993).

O uso de imagens de satélite como base cartográfica é um método muito promissor, devido ao fácil acesso, atualmente com baixo custo para os usuários, periodicidade de

aquisição e fornecimento de importantes informações sobre a dinâmica da paisagem (Santos et al., 1993).

O conhecimento atualizado da cobertura do uso da terra, da distribuição da área ocupada pela vegetação natural remanescente, bem como informações sobre a dinâmica da paisagem, se torna cada vez mais necessária na análise de planejamentos futuros para o município. Desse modo, existe a necessidade da constante atualização desses registros (Andrade et al, 2009).

O município de Sorocaba-SP, nas últimas duas décadas, apresentou crescimento populacional e industrial. Apesar de o município ter grande importância no cenário socioeconômico paulista e brasileiro, devido ao forte setor industrial, há ainda uma carência de estudos ambientais sobre a fragmentação da paisagem local, os quais poderiam prestar efetiva colaboração no planejamento de uso e ocupação da terra.

Considerando o exposto acima, o objetivo desse trabalho foi mapear a cobertura da terra município de Sorocaba a partir de imagens de satélite. Posteriormente, através de técnicas de geoprocessamento, foram analisados e discutidos os resultados obtidos com os mapas de fragmentação florestal remanescente.

1.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende o município de Sorocaba que está localizado na parte sudeste do Estado de São Paulo, entre as coordenadas 23º21’ e 23º35’ de latitude sul e 47º17’ e 47º36’ de longitude oeste (Figura 1).

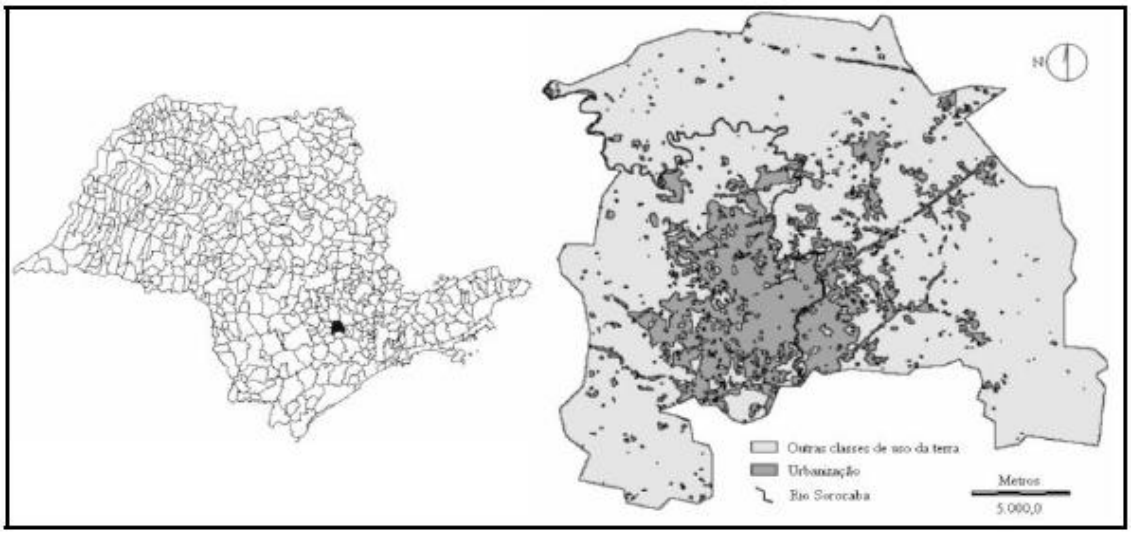

Figura 1. Localização do Município de Sorocaba no Estado de São Paulo (esquerda) e sua mancha urbana (direita). Fonte: Silva (2007).

O município de Sorocaba possui uma área de 449 km² e população de 596.060 habitantes para o ano de 2012. A população é majoritariamente urbana (98%) e sua densidade demográfica é de 1.327,17 hab/km^2 (Seade, 2012). Possui clima do tipo Cwa (classificação de Koeppen): caracterizado como clima temperado úmido com Inverno seco e Verão quente, tendo como temperatura média anual 21,4º, máxima de verão 30,1º e mínima de inverno 12,2º e ainda 1.285 mm de altura pluviométrica anual (Cepagri, 2012). A altitude média da região é de 580m.

Na região ocorrem predominantemente Argissolos e Latossolos, embora ocorra também Cambissolos, Neossolos litólicos e Gleissolos em algumas porções do município (Oliveira et al., 1999). O bioma predominante no município é de Mata Atlântica, embora haja algumas manchas de Cerrado. Com base na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH)

o município pertence à UGRHI 10 Sorocaba/ Médio Tietê, que engloba 33 municípios, mas tem Sorocaba como Macrometrópole Paulista (Carvalho e Jovito, 2010).

2. Metodologia de Trabalho

O trabalho foi desenvolvido por meio de técnicas de geoprocessamento, utilizando como principal recurso o software Idrisi. Uma das bases de dados utilizada foi o mapa de cobertura e uso do solo do ano de 1988 (Silva, 2005), onde foram também obtidas informações para o desenvolvimento do mapa de cobertura e uso da terra de 2011. O fluxograma (Figura 2) mostra, de forma sintetizada, a metodologia utilizada na execução deste trabalho.

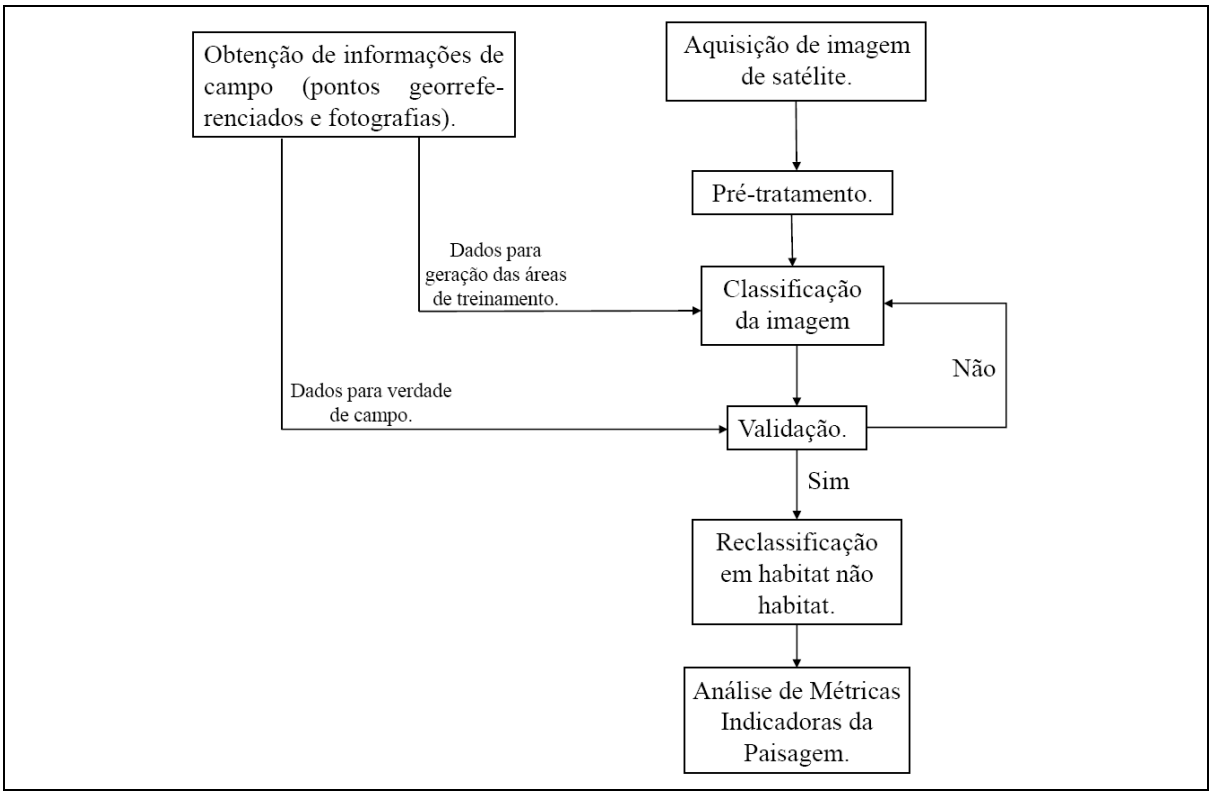

Figura 2. Fluxograma das etapas do processo de levantamento e execução gráfica dos mapas.

Para elaboração do mapa de 2011, informações de campo foram obtidas utilizando um equipamento receptor de posicionamento global "GPS" e algumas fotografias para auxiliar a elaboração das áreas de treinamento. As informações georreferenciadas foram utilizadas para elaboração das áreas de treinamento. Posteriormente, foi dado início a etapa de classificação da imagem. Nesta classificação foram consideradas as seguintes classes de cobertura: Vegetação Natural Remanescente / Reflorestamento (VNR/Ref), Pastagem, Culturas, Área Urbana, Solo Exposto e Corpos d'água.

O mapa foi elaborado a partir de imagem do satélite *Landsat-5*, órbita/ponto 220/76, de 03/09/2011, bandas 3, 4 e 5, nos canais RGB (*Red, Green, Blue*). A imagem foi obtida gratuitamente no catálogo de imagens digitais disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O programa utilizado para o processamento da imagem foi o Idrisi 3.2.

Em seguida, foram criadas as assinaturas pelo módulo "*Makesig*" e, depois, a classificação supervisionada propriamente dita pelo método de Máxima Verossimilhança, através do módulo "*Maxlike*".

A verificação do resultado da classificação foi avaliada estatisticamente por meio do Índice *Kappa*, conforme o procedimento sugerido por Eastmann (1999) e por Simões (2001).

Após várias etapas de retificação da classificação, a qual foi dificultada principalmente pela alta semelhança do comportamento espectral dos pixels pertencentes às categorias pastagem e culturas, gerou-se um mapa onde o Índice *Kappa* resultante foi 0,86. Este valor, segundo Galparsoro e Fernández (2001), é classificado como "muito bom" e daí o mapeamento foi validado.

Após sua validação, o mapa de cobertura da terra foi reclassificado em apenas duas classes: VNR/Ref que passou a ser uma classe denominada *habitat.* Todas as outras classes passaram a ter uma única classe, denominada *Não Habitat*. A razão para esta reclassificação é elaborar um mapa simplificado mostrando áreas com potencial de abrigo da biodiversidade original local (*habitat)* e áreas alteradas por ações antrópicas e que caracterizam local potencialmente inapropriado para estabelecimento e manutenção da biodiversidade original local (*não habitat*).

Após esta etapa, efetuou-se o agrupamento dos fragmentos, através do comando *"group"*, incluindo diagonal. Em seguida, extraiu-se a área dos desses fragmentos em dados tabulares e de imagem, utilizando o comando "área". Logo após foi feita a reclassificação dos fragmentos de acordo com seu tamanho, considerando classes que vão de <1 a >1000 ha. Já os dados tabulares permitiram obter o percentual, para cada classe de área, dos fragmentos. Dessa forma foi possível analisar a evolução das áreas remanescentes de vegetação existentes no município, objeto de pesquisa proposto neste trabalho.

3. Resultados e Discussão

A categoria classificada como *habitat* apresentou um aumento inesperado. Para o ano de 1988, os resultados mostram uma área de 8.772,21 ha, representando 19,5% do total da área do município. Já na interpretação do mapa do ano de 2011, as áreas de (VNR/REF) foram estimadas em 12.826,89 ha, representando 28,6% da área do município, havendo assim um aumento de 9,1% no período considerado (Figuras 3 e 4). De acordo com Silva (2005), o crescimento da área VNR/Ref se iniciou por volta de 1995, principalmente, devido a fatores geográficos e econômicos, onde foi constatada uma região densa de vegetação natural na porção sudeste do município.

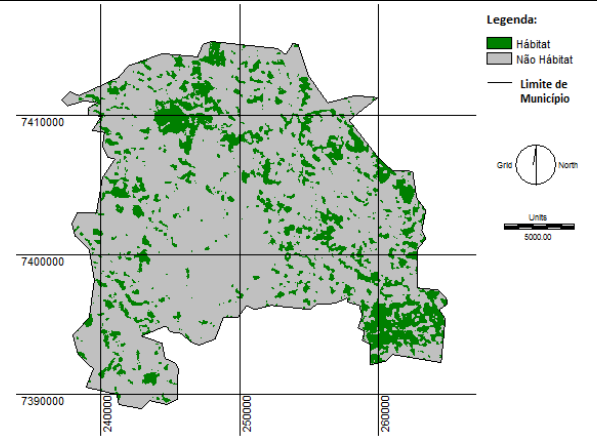

Figura 3. Ocorrência de Fragmentos Florestais no ano de 1988.

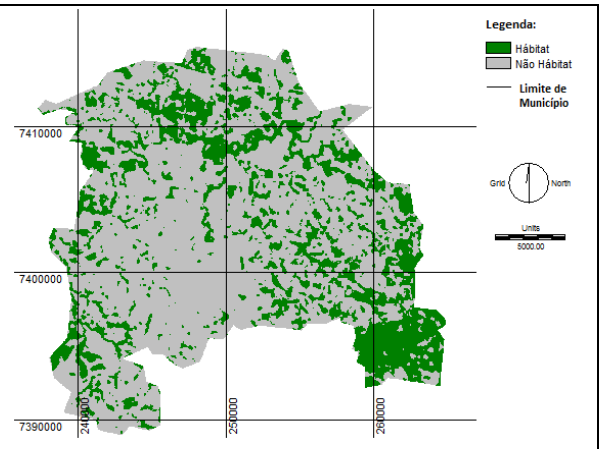

Figura 4. Ocorrência de Fragmentos Florestais no ano de 2011.

Por outro lado, a área urbana de Sorocaba aumentou consideravelmente nos últimos 23 anos (entre 1988 e 2011), passando de 4.798,8 ha em 1988 para 12.928,8 ha em 2011 (Figuras 5 e 6). Isso significa que atualmente a área urbana atual de Sorocaba equivale a

aproximadamente 29% da área total do município. É importante destacar que Sorocaba tem uma taxa de crescimento populacional anual de 1,75%. Esse índice é maior que a média do Estado que é de 1,09% (Seade, 2012). Ainda, segundo a Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba (2010), em 1988 a população era de 344.261 habitantes e atualmente possui 596.060 habitantes.

A partir desses dados é possível discutir melhor a dinâmica ambiental local, já que se trata de uma cidade que vem passando por um rápido crescimento de sua população. Isto tem acarretado maior pressão sobre os ambientes naturais do município e ocasionando a necessidade de cuidados por parte do poder público na manutenção da adequada qualidade de vida para todos (Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba, 2010).

A análise comparativa entre os mapas das Figuras 5 e 6 indica três regiões principais para o aumento observado da área de fragmentos florestais. Na parte sudeste do município, há uma densificação dos fragmentos florestais. Já na região nordeste e central há notoriamente um maior grau de conectividade entre os fragmentos, caracterizado pela mata ciliar do rio Pirajibu e alguns relictos florestais adjacentes e conectados, conforme observado pelos mapas. Uma das explicações para este aumento seria o acontecimento de programas sobre recuperação da mata ciliar e nascentes de Sorocaba, os quais são realizados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Sorocaba (2010). Ecossistemas pequenos e fragmentados são mais afetados por mudanças de temperatura e umidade do que ecossistemas extensos e contínuos, detentores de um micro-clima próprio e mais equilibrado (Secretariado da Convenção sobre Diversidade Biológica, 2006). Ficou clara aqui a melhoria da conexão entre os fragmentos florestais proporcionada pela recuperação da mata ciliar.

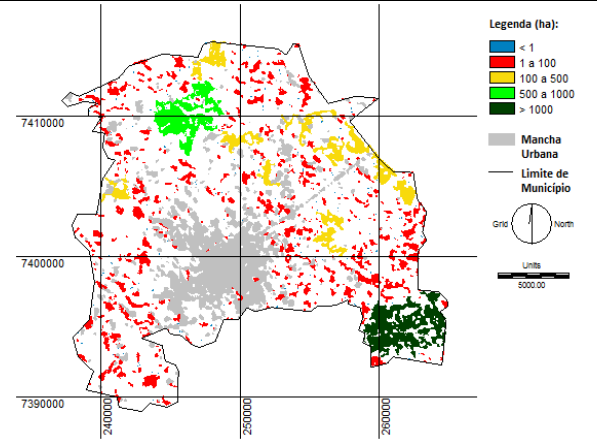

Figura 5. Classificação por critério de tamanhos dos fragmentos em hectares, ano de 1988. No mapa, manchas em branco correspondem a áreas de não habitat.

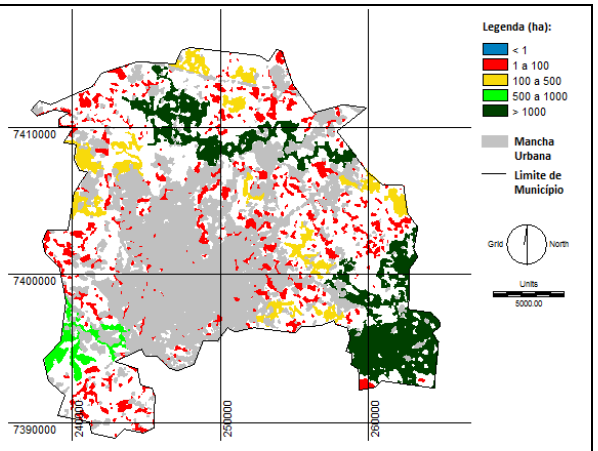

Figura 6. Classificação por critério de tamanhos dos fragmentos em hectares, ano de 2011. No mapa, manchas em branco correspondem a áreas de não habitat.

Apesar disto pode-se notar que, apesar do aumento da área de fragmentos florestais, o número de fragmentos, em Sorocaba, diminuiu em 161 fragmentos de 1988 a 2011. Contudo, notou-se que os fragmentos remanescentes estão realmente mais densos em área, sugerindo haver uma maior conectividade entre eles.

Atualmente, na área de estudo ocorrem 616 fragmentos. A larga predominância é de fragmentos com tamanho entre 1 a 100 ha, correspondendo a 62% do total de fragmentos (Tabela 1). Já os grandes fragmentos passaram da existência de apenas 1 em 1988 com área de 1.389,69 ha, para a ocorrência de 2 grandes fragmentos em 2011, sendo o maior com área de 3.155,31ha.

Com respeito à dinâmica dos fragmentos de tamanho <100 ha, pode-se notar pela Figura 7, que houve uma redução da ocorrência de fragmentos com área inferior a 1 ha e um aumento nos fragmentos de 1 a 100 ha.

Tabela 1. Ocorrência dos Fragmentos Florestais no município de Sorocaba-SP.

Classes de área dos Fragmentos	Ano (1988)		Ano (2011)	
	Número Fragmentos	% do total de fragmentos	Número Fragmentos	% do total de fragmentos
<1	367	47,2	219	35,6
1 a 100	397	51,1	382	62,0
100 a 500	11	1,4	12	1,9
500 a 1000	1	0,1	1	0,2
>1000	1	0,1	2	0,3
Total	777	100	616	100

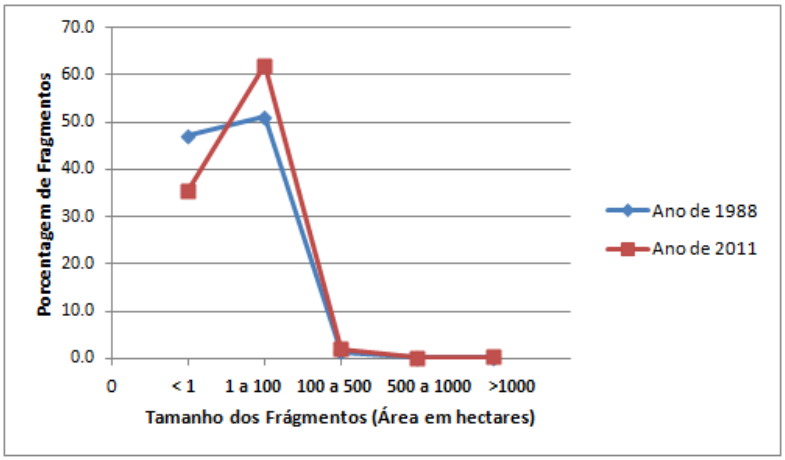

Figura 7. Percentual de Ocorrência dos Fragmentos Florestais em Sorocaba nos anos de 1988 e2011.

4. Conclusão

Houve um acréscimo de 4.054,68 ha da classe VNR/REF no período decorrente entre os anos de 1988 a 2011. Houve também um decréscimo do número de fragmentos florestais. Em 1988 haviam 777 fragmentos florestais e em 2011 detectou-se 616 fragmentos. Dentre eles, houve ainda uma diminuição de 148 fragmentos com área menor que 1 ha. Já o maior fragmento existente no ano de 1988, com área de aproximadamente 1390 ha, deixou de ser único. Dessa forma, atualmente, existem duas grandes áreas de vegetação natural remanescente no município com área maior que 1000 ha, sendo que a maior delas possui 3156 ha.

Apesar da fragmentação da vegetação natural remanescente ter ocorrido em maior escala para os fragmentos < 100 ha, este foi considerado pequeno diante dos fragmentos de maior porte. O fato de Sorocaba ser um município que não possui perfil agropecuário (extensas áreas com canaviais, extensas áreas com criação de gado, dentre outras atividades agropecuárias de grande porte), talvez colabore na melhoria do cenário. Contudo, as ações promovidas pelo governo municipal em recuperar áreas de mata ciliar e nascentes que aparentemente, parecem estar auxiliando a mitigação do processo de fragmentação e isolamento florestal.

Referências Bibliográficas

Andrade, J.B. de; Silva F.B.; Gusmão, E.R.; Brito, D.R.B.; Dourado, G.F. Mudança da cobertura vegetal do município de Buriti - MA nos anos de 2000 e 2007: uma abordagem com o uso de geotecnologias. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 5587-5594. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00044-7. Disponível em <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.01.42/doc/5587-5594.pdf> Acesso em: 30.out. 2012.

Secretariado da Convenção sobre Diversidade Biológica (2006) Panorama da Biodiversidade Global 2. Montreal, 81, p. 34. Disponível em: <http://www.cbd.int/doc/gbo/gbo2/cbd-gbo2-po.pdf>. Acesso em 30.out.2012.

Galparsoro, L. U. Fernández, S. P. Medidas de concordância: el índice Kappa. 2001. Disponível em: <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.htm>. Acesso em: 30.out.2012.

Cepragri – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura dos Municípios Paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_584.html>. Acesso em: 30.out.2012.

Eastman, J.R.. ***IDRISI 32. - Guide to GIS and image processing.*** Massachusettes: Clark University, 1999. v.2, 169 p.

Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T. Howard, E.A., Kucharik C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder P.K.. 2005. Global consequences of land use. **Science**, 309, p. 570–574.

Freitas Filho, M.R.; Medeiros, J.S. Análise multitemporal da cobertura vegetal em parte da Chapada do Araripe- CE, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. Artigos, p.73-80. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00052-2. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401912/2005/07.20.01.58/doc/073-080.pdf>. Acesso em: 30.out.2012.

Oliveira, J. B. de; Camargo, M. N.; Rossi, M. e Calderano Filho, B. (1999). **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** Legenda Expandida. Campinas: Instituto Agronômico; Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos.

Pereira, M.N.; Kurkdjian, M.L.N.O. de; Foresti, C. **Cobertura e uso da terra através de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos, SP, 1989. p. 126

Santos, M.L.M.; Mattos, M.M.; Pires, I.O.; Brown, I.F.; Assis, W.S. Utilização de imagens de satélite no mapeamento preliminar do uso da terra e na capacitação de agricultores do médio Rio Capim - Paragominas - PA, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. Artigos, p.6-15. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00055-3. Disponível em: < http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca/>. Acesso em : 30.out.2012.
Seade São Paulo (Estado). Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEADE - Perfil Municipal. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php>. Acesso em: 30 de outubro de 2012

Carvalho, C.T. dos R. L.; Jovito, M.T. **Relatório de Qualidade Ambiental 2010**. São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo / Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Meio Ambiente Paulista SMA/CPLA. 2010. 224p.

Secretaria do Meio Ambiente De Sorocaba – SEMA – Projetos / Mata Ciliar: Programa de Recuperação de Mata Ciliar e Nascentes de Sorocaba. Sorocaba, 2010.
Disponível em: <http://meioambientesorocaba.com.br/Pagina.aspx?pg=37>. Acesso em 30.out.2012.

Silva, A.M. Cobertura do solo do município de Sorocaba-SP e implicações na fragmentação dos remanescentes florestais. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 7, p. 38-46, 2005.

Silva, M. P. S., Camara, G., Escada, M. I. S., Souza, R. C. M. 2008. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. **International Journal of Remote Sensing**, 29 (16), 4803–4822, 2008.

Simões, L.B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e Sistema de Informação Geográfica na delimitação de zonas de tampão ripárias.** 2001. 171 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.